

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ

636 – KATEDRA MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ



KVALITA HLÍNKOVÝCH DÍLU PO ODMAŠTĚNÍ
QUALITY OF ALUMINIUM PARTS AFTER DEGREASING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DUŠAN JUGAS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. ZDENĚK JONŠTA, CSc.

OSTRAVA 2018

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Dušan Jugas

Studijní program:

N3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor:

3911T036 Progresivní technické materiály

Téma:

Kvalita hliníkových dílů po odmaštění
Quality of aluminum parts after degreasing

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozdělení slitin hliníku a jejich aplikace v dopravě.
2. Strukturní vady v hliníkových slitinách.
3. Povrchové úpravy hliníku.
4. Experimentální hodnocení jakosti povrchu hliníkových dílů.
5. Vyhodnocení získaných výsledků a závěry.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Michna,Š.: Aluminium materials and technologies from A to Z. Prešov: Adin, 2007, s.700.
2. Michna,Š., Kusmierczak,S.: Technologie a zpracování hliníkových materiálů: učební texty, FVTM, Univerzita J.E.Purkyně, Ústí nad Labem, 2008, s.154.
3. GDA: Gesamtverband der Aluminiumindustrie - <http://www.aluinfo.de/>
4. Solfronk,P., Nová,I., Nováková,I.: Tvařitelnost slitin hliníku. TU v Liberci, Liberec,2012, s.154.

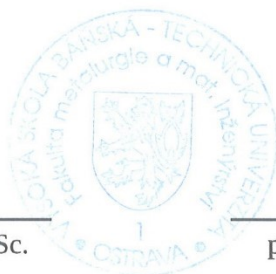
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Zdeněk Jonšta, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 09.05.2018

prof. Ing. Vlastimil Vodárek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování diplomové práce

I.

Diplomovou prací (dále jen DP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání diplomové práce:

- | | |
|----------------------------------------------|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah DP |
| 2. Originál zadání DP | 7. Textová část DP |
| 3. Zásady pro vypracování DP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání DP student obdrží na své oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce“ následují za originálem zadání DP. („Zásady pro vypracování diplomové práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání DP. V případě, že DP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah DP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části DP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část DP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním DP;
- Vlastní rozpracování DP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků DP z hlediska stanoveného zadání.

DP bude zpracována v rozsahu min. cca 45 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) DP bude obsahovat alespoň 15 literárních odkazů, z toho nejméně 5 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Diplomovou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

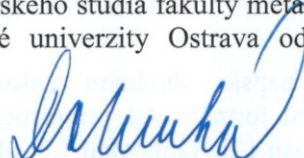
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení DP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování diplomové práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem magisterského, resp. navazujícího magisterského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на vědomí, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 25. 2018

.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

Na tomto místě bych rád srdečně poděkoval všem zúčastněným, kteří se svým profesionálním a osobním přístupem podíleli na spoluvytvoření této diplomové práce.

Obzvláště bych chtěl vyjádřit veliké poděkování panu profesoru Jonštovi za jeho ochotu, přívětivost a za možnost být součástí této zajímavé problematiky. Dále bych chtěl poděkovat panu inženýrovi Tomáši Adámkovi z firmy PWO Czech Republic a.s. za poskytnutí všech prostředků k diplomové práci, neboť bez jeho usílí a pomoci by tato diplomová práce nemohla vzniknout.

Tato diplomová práce vznikla za přispění projektů Studentské grantové soutěže „SP2018/70 Studium souvislostí mezi technologií výroby a zpracováním pokročilých materiálů, jejich strukturními parametry a užitnými vlastnostmi“ a „SP2018/60 Specifický výzkum v metalurgickém, materiálovém a procesním inženýrství“.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je studium kvality hliníkových dílů po odmaštění. Teoretická část se zaměřuje na charakteristiku hliníku, vlastnosti hliníku a jeho slitin, výrobu hliníku, rozdělení slitin hliníku, strukturní vady hliníku, použití hliníku v průmyslu a na povrchové úpravy hliníku. Praktická část se specializuje na analýzu struktury hliníku po odmaštění a na závěrečné vyhodnocení kvality dodaných vzorků. V experimentální části je dále popsána měřicí technika a její princip.

Klíčová slova: hliníkové díly; povrchová úprava; odmaštění

ABSTRACT

The aim of this thesis is the study of the quality of the aluminum parts after degreasing. The theoretical part focuses on the characteristics of aluminum, properties of aluminum and its alloys, production of aluminum, the distribution of aluminum alloy, structural defects of the aluminum, use of aluminum in industry and the surface treatment of aluminum. The practical part specializes in the analysis of the structure of aluminum after degreasing and the final evaluation of the quality of the supplied samples. In the experimental part is further described measuring technique and its principle.

Key words: aluminum parts; surface finish; degreasing

OBSAH

ÚVOD.....	1
1 TEORETICKÁ ČÁST	2
1.1 CHARAKTERISTIKA HLINÍKU A JEHO SLITIN	2
1.2 VÝROBA HLINÍKU	3
1.2.1 <i>Elektrolýza hliníku</i>	<i>3</i>
1.3 VLASTNOSTI HLINÍKU A JEHO SLITIN.....	5
1.3.1 <i>Fyzikální vlastnosti</i>	<i>5</i>
1.3.2 <i>Mechanické vlastnosti</i>	<i>7</i>
1.3.3 <i>Únavové vlastnosti</i>	<i>8</i>
1.3.4 <i>Chemické vlastnosti.....</i>	<i>9</i>
1.3.5 <i>Technologické vlastnosti</i>	<i>9</i>
1.4 SOUHRN HLINÍKOVÝCH SLITIN PO TVÁŘENÍ	11
1.5 TVÁŘENÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN.....	13
1.5.1 <i>Válcování hliníku</i>	<i>13</i>
1.5.2 <i>Lisování hliníku.....</i>	<i>15</i>
1.6 STRUKTURNÍ VADY HLINÍKU NA MIKROSTRUKTUŘE	17
1.7 VYTVRZOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN	19
1.8 APLIKACE HLINÍKU A JEHO SLITIN	20
1.8.1 <i>Využití hliníku v dopravním sektoru.....</i>	<i>20</i>
1.8.2 <i>Použití hliníku ve stavebnictví.....</i>	<i>23</i>
1.9 POVRCHOVÁ ÚPRAVA HLINÍKU A JEHO SLITIN	25
1.9.1 <i>Odmašťování</i>	<i>26</i>
2 EXPERIMENTÁLNÍ HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU HLINÍKOVÉ SLITINY	29

2.1	CHARAKTERISTIKA DODANÝCH SLITIN	29
2.2	ANALÝZA POVRCHU HLINÍKOVÉ SLITINY NA ELEKTORONOVÉM SKENOVACÍM MIKROSKOPU	31
2.2.1	<i>Porovnání povrchových vlastností hliníkových slitin AlMg3.....</i>	<i>32</i>
2.2.2	<i>Analýza slitiny AlMg3 (16 216)</i>	<i>32</i>
2.2.3	<i>Analýza slitiny AlMg3 (23 017)</i>	<i>36</i>
2.2.4	<i>Analýza slitiny AlMg3 (01 218)</i>	<i>40</i>
2.3	METALOGRAFICKÝ VÝBRUS HLINÍKOVÉ SLITINY	42
2.4	ELEMENTÁRNÍ ANALÝZA KYSLÍKU, DUSÍKU A VODÍKU	47
2.5	OPTICKÁ EMISNÍ SPEKTROMETRIE S DOUTNAVÝM VÝBOJEM (GDOS)	49
3	ZÁVĚR.....	52
4	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54

ÚVOD

Hliník je v průmyslové historii opravdu mladý materiál. Právě v posledních letech a desetiletích se nadmíru zvýšila poptávka po hliníku a jeho vývoj. To je způsobeno zejména jeho příznivými vlastnostmi – jako jsou nízká hmotnost, vysoká korozní odolnost a neomezená recyklovatelnost. Hliník je hned po oceli nejdůležitější používaný kov s využitím ve všech oblastech techniky, a i ve všedních situacích.

Tento materiál je přesvědčivý svou funkcí, ale také estetikou. Energetická krize v 70. letech je příčinou zesílení využití hliníku ve všech dopravních odvětvích. Cílem bylo snížení spotřeby pohonných hmot s pomocí lehkých vozidel. Letadla bez hliníku jsou nemyslitelná. V letech 1992 a 1994 se usilovalo centrálně hliníku „Aluminium-Zentral“ o marketingovou ofenzívu, která byla ve všech ekonomických oborech představena pod heslem „Das neue Aluminium“. Hliník se prezentuje jako materiál pro řešení funkčnosti a budoucnosti pro stávající společnost. Obzvláště nízká specifická hmotnost, vysoká pevnost v kombinaci s jinými vlastnostmi a dobrá tepelná vodivost jsou důsledkem toho, že je hliník nenahraditelný materiál.

Při výrobě v automobilovém průmyslu se postupně permanentně zvyšoval podíl využití hliníku. Jako příklad lze uvést: na konci 70. let se využívalo při výrobě cca 32 kg hliníku na vozidlo v roce 2007 už to bylo cca 130 kg hliníku na vozidlo. Hliník se využívá na motory, podvozky, vnitřní vybavení vozidla, karoserie, kola a jiné. Ve stavebnictví je dnes hliník nejčastěji využívaným kovem na okna, dveře a fasády. Hliník je dnes více než materiál, je součástí mnoha moderních produktů: musik – player, počítače, mobily, laptopy, outdoorové produkty, nábytky, lampy nebo kuchyně. V oblastech dopravy a stavebnictví je hliník recyklovatelný od 90 až 98 %.

Nové hliníkové slitiny, techniky zpracování, povrchové techniky úpravy, spojovací techniky a kompozitní materiály jsou ideální příležitostí pro řadu nových možností při využití hliníku.

Cíle této diplomové práce jsou následující:

- Literární rešerše do problematiky
- Experimentální hodnocení jakosti hliníkových dílů
- Vyhodnocení výsledků a závěry

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 CHARAKTERISTIKA HLINÍKU A JEHO SLITIN

Hliník a jeho slitiny se vyznačují nízkou hmotností, dobrou pevností, elektrickou vodivostí a korozivzdorností. Hliník krystalizuje v soustavě kubické plošně středěné. Korozní odolnost u hliníku je zajištěna s pomocí pevné a husté vrstvy oxidů na povrchu. Měrná elektrická vodivost u hliníku je zhoršena především prvky jako je chrom, vanad a mangan. Tepelná vodivost čistého hliníku je $215 \text{ [Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}]$, hustota je $2700 \text{ [kg.m}^{-3}]$ a teplota tání $660 \text{ [}^\circ\text{C}]$. Technicky čistý hliník, který se vyrábí hutním způsobem dosahuje čistoty 99 až 99,9 % Al a obsahuje nečistoty např. Si, Cu, Fe, Mg atd. Pevnost u takového hliníku je velmi malá, R_m cca 100 [MPa] a tvrdost HB 40, špatná slévateľnost, ale velmi dobrá tvárnost. Využití čistého hliníku je především u obalů potravin, v elektrotechnickém odvětví a v jaderné energetice.

Při namáhání slitin hliníku se realizuje jeho rekrystalizace a dochází k hrubnutí zrna, z toho důvodu jsou součásti lisovány z hliníkového prášku a oxidu hlinitého v poměru 9:1. Spékání je uskutečňováno při teplotě 500 až 600 $^\circ\text{C}$ s následným tvářením za tepla. Obalené částice hliníku oxidovou vrstvou nekrystalizují ani za zvýšených teplot. V České republice jsou 4 značky pro tvářený hliník a 6 značek pro hliník slévářenský. Rozlišují se podílem nečistot od 0,15 do 0,1 %.

Pro uplatnění v technické praxi jsou výhodnější z pohledu slévářenských vlastností hliníkové slitiny, a to zejména pak základní typy slitin hliníku. Slitiny hliníku se dělí na tvářené a slévářenské. Na základě metalurgické povahy se hliníkové slitiny dělí na vytvrditelné a nevytvrditelné. Slévářenské slitiny jsou charakteristické eutektickým složením, naopak slitiny hliníku k tvářením eutektikum neobsahují. Pomocí některých přísadových elementů se vytváří hliníkové slitiny s intermetalickou vytvrditelnou fází (např. Mg_2Si , Al_2Cu). Za těchto okolností je umožněno tepelné zpracování odlitků – vytvrzování.

Struktura technicky čistého hliníku je tvořena bodovými, čarovými a plošnými defekty. Během krystalizace se určitá místa v krystalové mřížce neobsadí, v takto neobsazených místech je umožněna difúze atomů v mřížce, vyvolá se vnitřní pnutí a krystalová mřížka se deformuje. Další možností může být, že deformace mřížky je způsobena obsahem nečistot v hliníku. Významné jsou také hranice mezi zrnky, kde se při deformaci ruší dislokace, rovněž se mohou na hranicích zrn vyskytovat i jiné vady [1], [2].

1.2 VÝROBA HLINÍKU

Dnešní moderní způsob výroby hliníku se skládá ze dvou nezávislých procesů. V první fázi se jedná o přípravu **oxidu hlinitého**, obzvláště **bauxitu** (obr.1.1) a druhou fází je výroba hliníku elektrolýzou. V současné době se na světě vyprodukuje téměř 25 mil. tun primárního hliníku.

Hliník se řadí mezi neušlechtilé kovy, z toho důvodu se nevyrábí elektrolýzou z vodních roztoků. Pro výrobu hliníku se používá elektrolýza roztavených solí – roztavená sůl kryolit, Na_3AlF_6 , do které se přidává oxid hlinitý a také přísady na modifikování vlastností elektrolytu, např. na bázi hořčíku, vápníku, lithia atd. [3], [4].



Obr. 1.1. Výchozí materiál pro výrobu hliníku je tzv. „bauxit“ – jsou v něm vázány prvky hliníku [14].

1.2.1 Elektrolýza hliníku

Výroba hliníku elektrolýzou se provádí v **elektrolyzních pecích**, elektrolýzerech, v kterých je přítomen rozpuštěný kryolit za teploty cca 960 °C (obr. 1.2). Elektrolýzér představuje uzavřenou soustavu, kde se vyskytuje na jeho dnu uhlíková katoda a také uhlíková anoda, která je ponořena do rozpuštěné lázně. Do lázně je obvykle přidán oxid hlinitý, který se za určitých předpokladů v krylitu rozpouští a s pomocí napětí na elektrolýzérovi se rozloží na hliníkový kov (putuje ke katodě) a kyslík (oxiduje uhlíkovou anodu).

V procesu se realizuje spotřeba anod, zatímco ke spotřebě elektrolytu nedochází, provádí se pouze doplnění přísad, např. fluorid hlinitý. Po překročení doby funkčnosti elektrolýzérovi se vybourají stěny vany elektrolýzérovi a znova se vyzdí. Charakteristiky napěťové

a proudové se liší pro každý podnik, záleží na uspořádání v podniku, na počtu elektrolyzérů, technologii a dalších faktorech.

Moderní elektrolyzér na výrobu hliníku je složen z pravoúhlé ocelové vany obložené žáruvzdorným materiálem a vyzdívkou. Uvnitř prostoru se nachází tekutý hliník spolu s vysokokorozivním fluoridovým elektrolytem. Za pomoci uhlíkových anod je dopraven elektrický proud do elektrolyzérů u starších typů elektrolyzérů slouží k dopravě elektrického proudu jednoduchá samovypalovací Söderbergova anoda [4].



***Obr. 1.2.** Proces elektrolýzy, německý hutní závod „**Rheinwerk**“ ve městě Neuss, v řadě se zde nachází 52 pecí s teplotou až 960 °C [15].*

Oxid hlinitý je přidán do elektrolytu po malých dávkách v krátkém časovém rozmezí s použitím pneumatického bodového dávkovače a přebíječe. Tepelně izolační vyzdívka se používá k zabránění úniku tepla a s její pomocí je rovněž zajištěna ochranná vrstva tuhého elektrolytu na bocích stěn elektrolyzérů, tzv. garnisáž.

Spodní část anod je volná, tím je umožněn přívod elektrického proudu do elektrolytu. Ztuhlá část je tepelný a elektrický izolant bočních uhlíkových bloků, tak se neuskutečňuje eroze uhlíku při tvorbě karbidů hliníku.

Elektrický proud je do elektrolytu přiveden ocelovými vývodovými tyčemi, které jsou zasunuty do uhlíkové vyzdívky. Hliník je vyloučen elektrochemickým způsobem do roztavené hliníkové katody [4].

1.3 VLASTNOSTI HLINÍKU A JEHO SLITIN

1.3.1 Fyzikální vlastnosti

Hliník je tvořen kubickou plošně středěnou mřížkou K12. Hliník a jeho slitiny se vyznačují dobrými plastickými vlastnostmi za tepla i za studena. Aplikace fyzikální metalurgie hliníku je založená na vlivu chemického složení, tepelného zpracování a tváření na chemické, fyzikální a technologické parametry.

Nalegováním jednoho nebo více elementů se dosáhne změny chemického složení, tak se mění prvotní vlastnosti u hliníku a realizuje se jejich zlepšení:

- **vlastnosti pevnostní:** zlepšení při použití Cu a Mg (duralové slitiny),
- **vlastnosti chemické:** přidáním např. Ag – lepší se odolnost vůči koroznímu napadení,
- **vlastnosti technologické:** použitím Si – zlepšují se vlastnosti slévárenské (siluminy),
- **vlastnosti fyzikální:** použitím B – elektrická vodivost čistého hliníku je vyšší.

V hliníkových slitinách se vyskytují intermetalické částice, které se podílejí podle svojí velikosti, množství a distribuce na pevnostních, chemických, technologických a fyzikálních vlastnostech [5].

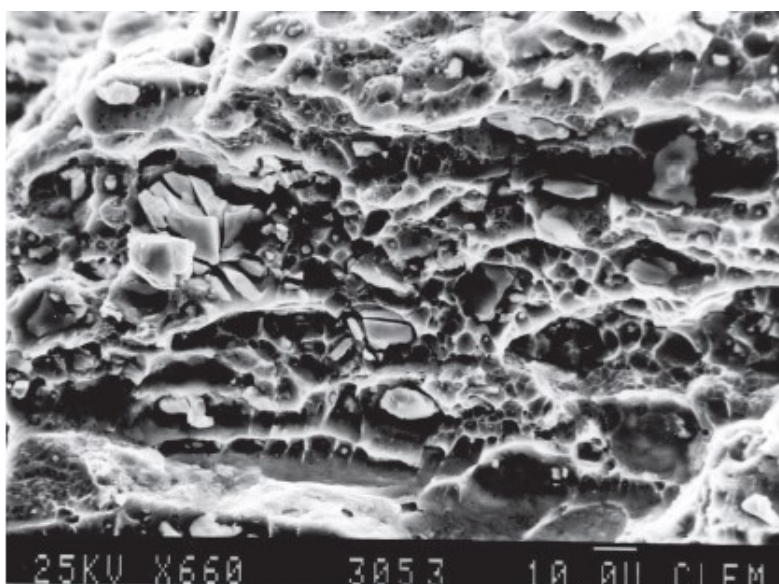
Výskyt intermetalické částice v hliníku je závislý na vstupní surovině pro výrobu. Už v hliníku o čistotě 99,5 % je obsažen určitý podíl železa a křemíku. Železo je nežádoucí prvek u mnoha slitin. Použití hliníku o větší čistotě k výrobě slitiny bez obsahu železa je ekonomicky náročné. Proto slitiny hliníku jsou kompromisem mezi ekonomickými náklady jejich výroby a předpokládanými vlastnostmi. Intermetalické fáze jsou složeny z částic různorodého charakteru, lze je rozdělit z pohledu vlivu na pevnostní vlastnosti [5]:

- **Intermetalické fáze podílející se na procesu vytvrzování,** kdy se zvyšují pevnostní vlastnosti hliníkové slitiny např. CuAl_2 , Mg_2Si .
- **Intermetalické fáze nepodílející se na procesu vytvrzování,** na základě velikosti, morfologie, množství i distribuce jsou nepříznivě ovlivněny únavové a plastické vlastnosti, např. FeAl_3 . Za předpokladu že dochází ke snížení únavových vlastností se u slitin pro letecké účely eliminuje podíl a velikosti intermetalických částic.

Nepříznivý vliv intermetalických částic na vlastnosti hliníku a jeho slitin se vysvětluje pomocí znalosti o tvárném porušování. Tvárné porušení vyjadřuje souvislost s plastickou

deformací, na kterou se nahlíží jako na hlavní příčinu porušování. Proces plastické deformace se dělí na tři etapy [5]:

- **Nukleace mikroporuch** – intermetalické částice jsou charakteristické jinými pevnostními a plastickými vlastnostmi než matrice – z důvodu plastického toku matrice se vytváří v jejich okolí napětí. V oblasti povrchového rozhraní mezi matricí a intermetalickou částicí se uskutečňuje porušení – koheze – tvorba mikroporuch. Mikroporuchy jsou specifické svým plošným charakterem a ostrým ohraničením – označují se jako trhliny.
- **Růst mikroporuch** – s rostoucí plastickou deformací se uskutečňuje růst mikroporuch. Původně plošné útvary se mění na útvary prostorové – označují se jako dutiny. Při vysoké plastické deformaci se vytváří velké množství dutin, označuje se jako přítomnost soustavy dutin – poruch, ty jsou od sebe odděleny s pomocí můstků kovové matrice. Při další deformaci se vytváří koncentrace můstků.
- **Koalescence** – porušování, v této poslední etapě se uskutečňuje zúžení můstku u matrice – vytváří se lomová plocha. Při zkoumání za použití elektronového rastrovacího mikroskopu jsou charakteristické lomové plochy s jamkami – zde je značný výskyt intermetalické částice a hřebeny zbarvené do světla u matrice α – **důlková morfologie** (obr. 1.3).

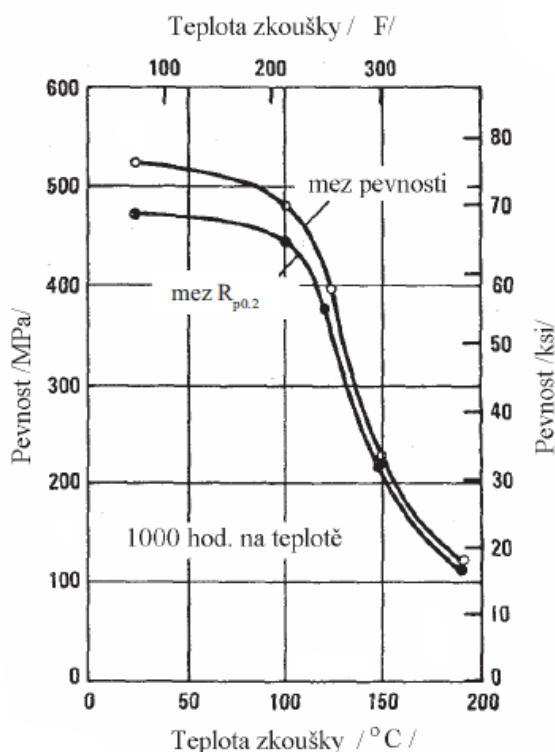


Obr. 1.3. Důlková morfologie slitiny EN AW - 2024(Al Cu4Mg1) [5].

1.3.2 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti u hliníku a jeho slitin se odvíjejí od řady faktorů. Rozhodujícími parametry jsou především stav tepelného zpracování, tloušťka produktu a směr odběru zkoušeného tělesa. Výrobky s větším rozměrem (vytvrzované slitiny) jsou anizotropní, ale zároveň i nehomogenní. Lze uvést, že při narůstajícím obsahu legujících prvků pevnost roste. U slévarenských slitin se vyskytují vyšší obsah prvků i nízké meze pevnosti, to lze připisovat tomu, že litá struktura je hrubozrnná, pórovitá a nehomogenní (z chemického hlediska) na rozdíl od tvářené struktury.

Při nárůstu teploty u hliníkové slitiny se snižuje mez pevnosti R_m , mez kluzu $R_{p0,2}$ i tvrdost, ale tažnost se zvýší. U níže uvedeného obrázku (obr. 1.4) je vykresleno obzvláště rychlé snížení pevnosti za teplotou nad 100 °C. Slitina byla tepelně zpracována (vytvrzení za tepla), i přesto se degradují pevnostní vlastnosti, což je způsobeno dlouhou expozicí na teplotě nižší než v případě teploty umělého stárnutí. Okolo teploty 150 °C se pevnosti pohybují v oblasti cca 200 MPa.



Obr 1.4. Zkoušení za tepla tahem – slitina 7075 - T6 [4].

V mnoha případech je důležité znát i vlastnosti za nízkých teplot. Slitiny z hliníku tak i slitiny nezelezných kovů jsou charakteristické při některých použití dokonce lepšími vlastnostmi při nízkých teplotách než při pokojových teplotách. To je spojeno s kubickou

plošně středěnou mřížkou, tato schopnost pak umožňuje jednodušší zkoumání vlastností. Feritické oceli jsou při přechodu k nízkým teplotám podrobeny náročnými zkouškami v lomových oblastech, v případě slitin hliníku se za nízkých teplot velmi často zkoušky neprovádějí.

Chování slévárenských slitin je při nízkých teplotách obvykle stejné jako u tvářených slitin. Vlastnosti za nízkých teplot jsou ovlivněny chemickým složením, způsobem precipitačního zpevnění a rovněž i způsobem lití (do kokily, písku, speciální způsoby). Pevnost se zvyšuje rovnoměrně při klesající teplotě. U slitin s přídavkem Mg nad 6 % se pozoruje odchylka od normálního chování. Nárůst pevnosti do $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ se realizuje pomalu, v oblasti pod touto teplotou se pevnost zvyšuje velmi znatelně. Při poklesu teploty se tažnost a kontrakce u slévárenských slitin nemění nebo jen lehce klesá [4], [5].

1.3.3 Únavové vlastnosti

Únavová životnost slitin hliníku se odvíjí od různých parametrů. Mezi nejdůležitější se řadí např. stav tepelného zpracování, způsob namáhání, stav kvality povrchu a v případě laboratorního zkoumání i tvary zkušebních těles, způsoby zatížení a vliv prostředí. Únavové zkoušení se vyznačuje vlivem faktorů, ale zároveň i rozptylem výsledných hodnot. Z toho důvodu je pak srovnání výsledků z únavové zkoušky z odlišných zdrojů velmi sporné. Zejména je zásadní, aby se porovnávaly údaje, které se vztahují ke stejnému materiálu a ke stejným podmínkám při zkoušení. Proto jsou při hodnocení únavových zkoušek vyžadovány statistická data.

Většina experimentů únavových zkoušek byla doteď provedena u tvářených slitin hliníku, a to na vysokopevnostních slitinách (vytvrzované), které se vyskytují v konstrukcích u letadel. Stále se zvyšujícím se použitím hliníku v kolejové a automobilové dopravě se snahou o snížení hmotnosti a zvýšení spolehlivosti jsou ze strany konstruktérů požadovány charakteristiky o únavových vlastnostech, a to i u slitin slévárenských. Únavové křivky různých slitin se odlišují z pohledu napětí i tvaru. Wöhlerova křivka u vysokopevnostních slitin (vytvrzených) se vyznačuje svým specifickým tvarem – stálý pokles. U slitin nevytvrzených je tvar Wöhlerovy křivky obdobný jako u ocelí s vyznačením meze únavy.

Spoje v konstrukci jsou obvyklý potenciální zdroj narušení vlivem únavy. Jedná se pak o nýtové, šroubové ale i svarové spoje. U hliníkových slitin se v současnosti vyskytují a uplatňují svarová spojení – zejména v lodní a automobilové dopravě (auta, čluny, menší lodě). U svarových spojů se počítá zejména s tím, že vlastnosti jsou horší než u základního materiálu.

Mechanické vlastnosti svarového spoje se nezhoršují u základního materiálu tak znatelně, jako v případě únavových vlastností. Svarové spoje a jejich únavové vlastnosti se odvíjí od typu svaru a metody svařování [5], [6].

1.3.4 Chemické vlastnosti

Hliník se řadí mezi **neušlechtilé kovy** – je stříbřitě šedý. V přírodě se nachází nejvíce v podobě sloučenin, ve sloučeninách se objevuje pouze v mocenství Al^{3+} . Hliník se v čistém stavu chová poměrně reaktivně, na vzduchu je však stálý – pokryje se tenkou ochrannou vrstvou oxidu hlinitého (vrstva brání oxidaci kovu).

Ochranná vrstva se dále zesiluje pomocí povrchové úpravy (eloxování), zlepšují se tak účinky ochrany a u povrchu se docílí vyšší tvrdosti. Hliník se vyznačuje vysokou afinitou ke kyslíku, toho se využívá při výrobě různých kovů.

Hliník se také podílí na reakci s jinými nekovovými prvky při zvýšených teplotách, kdy se tvoří binární sloučeniny (nitridy, sulfidy, halogenidy, př. karbidy). V prostředí čisté vody se hliník chová stabilně vlivem účinku ochranné oxidové vrstvy. Hliníkové slitiny jsou ve vzduchu i na vodě méně chemicky odolnější v porovnání s čistým hliníkem. Nejškodlivější jsou zinek a měď.

V případě, že se ve vodě vyskytují ionty těžkého ušlechtilého kovu, je rozpuštění hliníku výrazně rychlejší. Hliník se snadněji rozpouští i v neoxidujících kyselinách – tvoří se hlinitanové soli. Slitiny hliníku se rozpouštějí v neoxidující kyselině mnohem rychleji než čistý hliník. Rozpuštění hliníku se realizuje i v zásaditém prostředí za tvorby hlinitanů. Binární sloučeniny hliníku jsou ve vodním roztoku nestabilní tím že podléhají hydrolyze [5], [7].

1.3.5 Technologické vlastnosti

K nejpodstatnějším technologickým vlastnostem se řadí **tvárnost, obrobitelnost, slévateľnost a svařitelnost**. Je-li určitý materiál způsobilý k procesu technologického zpracování je zhodnoceno s využitím speciálních zkoušek. Technologické zkoušky se většinou objevují v dodacích podmínkách u průmyslového výrobku.

Tvárnost

Tvárností se rozumí přetvoření materiálu při působení vnějšího zatížení na požadované rozměry a tvary. Během přetvoření se nesmí realizovat destrukce materiálu. Faktory, které

ovlivňují tvárnost jsou především: typ krystalové mřížky, chemické složení, teplota při tváření a stav tepelného zpracování materiálu [5].

Svařitelnost

Svařování je definováno jako jedna ze základních metod při spojení dílů slitin hliníku. Svarové spoje jsou většinou rozhodující u vlastností svařovaného materiálu. **Odlišná struktura základního materiálu od struktury svarového spoje se podepisuje na mechanických, únavových a korozních vlastnostech spoje.** Strukturní změny spojené se změnou vlastností u svarového spoje se odvíjejí od metody svařování a typu materiálu.

Jednou z metod svařování hliníku je metoda **MIG** (Metal Inert Gas – tavící se elektrodou). Jedná se o jednu z velmi rozšířených metod, které se přezdívá „céčko“. Principem metody je hořící elektrický oblouk mezi odtavující se drátovou elektrodou, která slouží jako přídavný materiál. Základem u metody MIG svařování je zvolení přídavného materiálu, který se pak podílí na pevnostních vlastnostech a na procesu ochlazování svaru, kdy se nevytváří trhliny. Mezi dobře svařitelné slitiny MIG svařováním se řadí slitiny nevytvrzovatelné, z vytvrzovatelných se jedná o slitiny (AlMgSi, AlZnMg) [5], [8].

Obrobitelnost

Pojem obrobitelnost v sobě zahrnuje řady vlastností s různými parametry (řezná síla, kvalita povrchu, tvary třísky, životnost nástroje). Slitiny hliníku se vyznačují dobrou obrobitelností na rozdíl od jiných konstrukčních slitin. Čistý hliník je hůře obrobitelný než slitina hliníku, tady je rozdíl v obrobitelnosti spojený převážně se strukturou. Mezi příznivé faktory pro obrobitelnost se řadí vlivy precipitátů, fází, měkkých částic a deformačního zpevnění.

Hliníkové slitiny se rozdělují z pohledu „obrobitelnosti“ na tři skupiny – tvářené, slévárenské a speciálně obráběné slitiny neboli automatové. Primární legující prvky u slévárenských slitin jsou především zinek, měď a hořčík. Podle všeho jsou tyto prvky dobře obrobitelné a při obrábění nijak škodící. Obrobitelnost slévárenských slitin se dá srovnat s tvářenými slitinami. Tvářené slitiny jsou specifické svojí skvělou obráběcí charakteristikou. Pro zajištění ideálních podmínek při obráběcím procesu se věnuje pozornost geometrii a parametrům obráběcího procesu. Opotřebení automatových slitin se vyrovná úrovní tvářených slitin i při vysoké řezné rychlosti se relativně málo opotřebovávají [4].

1.4 SOUHRN HLINÍKOVÝCH SLITIN PO TVÁŘENÍ

Hliníkové slitiny po tváření se označují na základě normy **ČSN EN 573-1** (tab. 1.1). Tyto slitiny hliníku se musí vyznačovat dobrou tvárností a nízkou vrubovou houževnatostí. Důležitým faktorem je, že u řady slitin je možné měnit jejich mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti s pomocí přesnějšího chemického složení (obr. 1.5).

Mezi základní pochody tváření se řadí:

- **válcování:** plechy, fólie (obchodní značka „**ALOBAL**“) a pásovina,
- **lisování:** tyče, trubky a profily,
- **kování:** výkovky.

Tvářené slitiny lze rozdělit z pohledu schopnosti vytvrzování (TZ) na:

- slitiny tepelně zpracovatelné,
- slitiny tepelně nezpracovatelné.

Základním charakterem při lisování polotovarů je pojem „**lisovatelnost**“. Obecně platí, že s vyšším obsahem přidaných prvků se u slitiny dosahuje vyšších pevnostních charakteristik, naopak lisovatelnost se snižuje. Kovatelnost slitin hliníku se odvíjí podle legujících prvků, při porovnání s titanovými slitinami jsou lépe kovatelny.



Obr. 1.5. Hliník se zpracovává především ve válcovacích, lisovacích a slévárenských závodech.

Použití hliníku s vysokou čistotou 99, 00 % „**série 1000**“ se uplatňuje zejména tam, kde jsou požadovány znamenité fyzikální vlastnosti jako jsou např. elektrická a tepelná vodivost nebo korozní odolnost [1], [4].

V případě slitiny „**série 2000**“ je legující prvek Cu, druhořadý je Mg. Jedná se o slitiny, které se dají tepelně zpracovat, tím je možné zlepšit jejich pevnost. Měď je vhodná pro zvýšení

tvrdosti a pevnosti slitiny, naopak její obsah se projevuje zhoršením tvárnosti. Jejich nevýhodou je také špatná korozní odolnost. Pro zvýšení jejich korozní odolnosti se provádí aplikace plátování fólií z hliníku o vysoké čistotě nebo použitím slitiny série 6000.

Slitiny „*série 3000*“ se nedají tepelně zpracovat. Používají se ve stavebnictví a jsou součástí výměníků tepla. Slitiny „*série 4000*“ se stejně jako slitiny série 3000 nedají tepelně zpracovat. Při vysokém obsahu křemíku cca 12 % se využívají při svařování u drátů. Během chemicko – tepelné povrchové úpravy (anodizace) se vykreslí jejich povrch do šedivé barvy.

Slitiny „*série 5000*“ jsou legovány prvkem Mg. Přítomností Mg ve slitině hliníku se **zlepšují podmínky tepelného zpracování** a navyšuje se **korozní odolnost**. Obsah Mg ve slitině hliníku pro tváření je obvykle **do 6 %**, naopak u slévárenských slitin se pohybuje jeho obsah okolo **11 %**. Hořčík je daleko **lepší pro substituční zpevnění** matrice α než mangan. Uplatňují se v automobilové, lodní dopravě a taky v potravinářském průmyslu.

Tab. 1.1. Slitiny k tváření podle normy EN 573-1 [4].

Hlavní legující prvek	Označení série
Hliník čistoty minimálně 99.00 %	1000
Měď	2000
Mangan	3000
Křemík	4000
Hořčík	5000
Hořčík a křemík	6000
Zinek	7000
Jiné prvky	8000
Nepoužitá skupina	9000

Podíl intermetalické fáze Mg_2Si je důležitou součástí slitin „*série 6000*“, díky jejich přítomnosti jsou zaručeny pevnostní vlastnosti slitiny a dají se tepelně zpracovat. Vyznačují se především svou dobrou tvárností, svařitelností a korozní odolností. Uplatnění těchto slitin je v oblasti dopravy, sportovních potřeb a u mostních konstrukcí.

Slitiny „*série 7000*“, kde je primárním prvkem legování zinek (1-8 %). V kombinaci s hořčíkem se u těchto slitin po tepelné úpravě dosahuje vysokých pevnostních charakteristik v porovnání s ostatními slitinami hliníku. Dalšími prvky k legování jsou měď a chrom. Vysoká pevnost slitiny je příčinou snížené korozní odolnosti. Odolnost vůči korozi je možné navýšit tepelným procesem (přestárnutím - stav T7) za předpokladu, že dojde k poklesu mechanických vlastností. Aplikace v oblasti letecké a automobilové dopravy [1], [4].

1.5 TVÁŘENÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

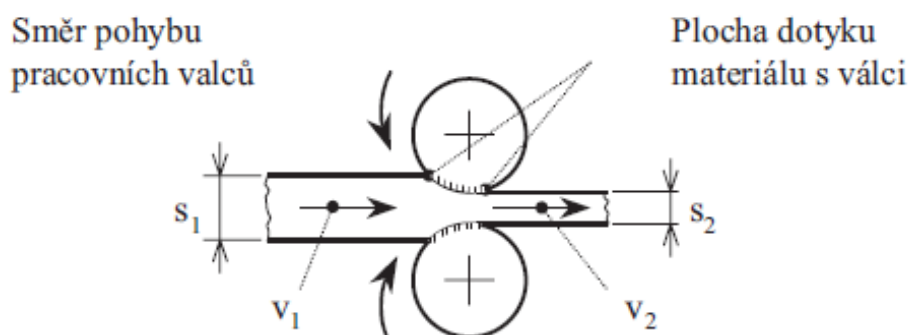
Podstatou tváření je vysoká plastická deformace, kdy se mění tvar a rozměr polotovaru. Mimo jiné se neuskutečňují jen tvarové změny, ale můžou se realizovat i fyzikální a chemické procesy v závislosti na podmínkách při tváření.

Přetvoření materiálu se uskutečňuje vlivem působení vnějších sil působících na materiál s pomocí nástrojů (kovadla, lisovací matrice atd.). Překročení stavu napjatosti při procesu tváření je důsledkem snížení koherence materiálu.

Nejvýznamnějšího přetvoření se dosáhne tlakovou deformací, naopak méně významného přetvoření je dosaženo tahovou deformací. Mezi tvářecí procesy se zejména řadí **lisování, válcování, kování** a další metody [4], [9].

1.5.1 Válcování hliníku

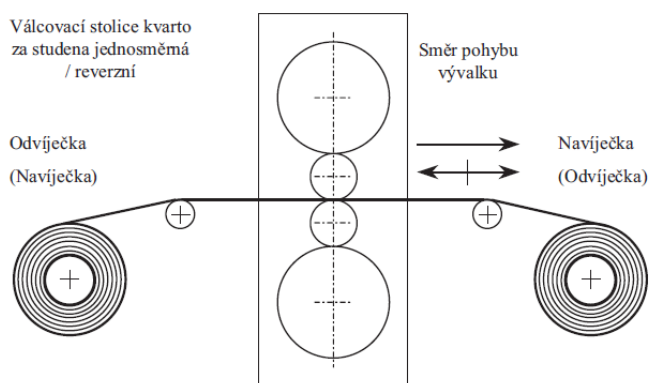
Celá řada polotovarů z hliníku a jeho slitin je vyrobena při válcování. Válcování je optimální proces, kdy jsou vyrobeny desky, plechy, fólie a pásy. Hlavní podstatou válcování je nevratná deformace plochého polotovaru. Deformace se uskutečňuje mezi dvěma otáčivými válci (viz obr. 1.6).



Obr. 1.6. Pracovní válce v dotyku s vývalkem [4].

Válcování za studena

Válcování za studena je realizováno na válcovací stolici kvarto s dvojicí válců (pracovní a opěrné) (obr. 1.7). Materiál se redukuje na konečný tvar s pomocí úběrů, které jsou obvykle v rozmezí 20 až 50 %, tady především záleží na typu slitiny, deformačním stupni a síle válcovaného materiálu. Za podstatné parametry při válcování se obvykle považují: ohybový moment, rozměr, jakost nástřikového oleje, který se využívá pro mazání a chlazení.

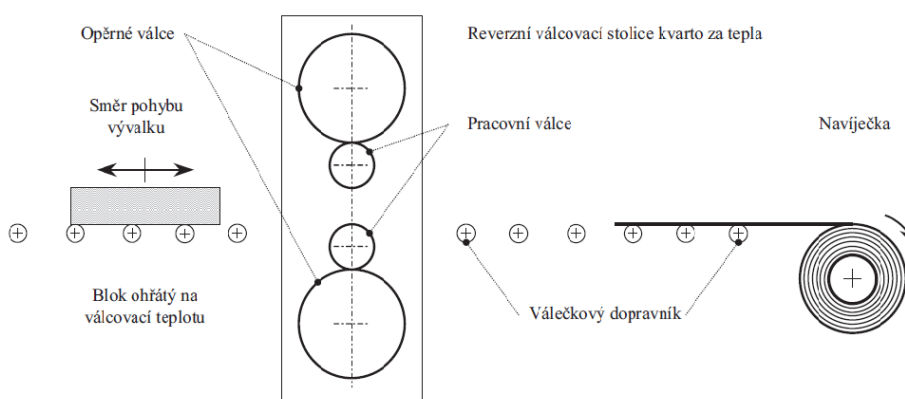


Obr. 1.7. Stolice pro válcování „kvarto“ [4].

Během deformace se při válcování materiálu rozvíjí teplo v místě válcovací mezery, při tomto procesu se teplo přenáší na opěrné a pracovní válce, dochází k profilové přeměně – mění se šířka, v takové případě se mluví o tzv. teplotní balicitě válce. Fólie o větší tloušťce (35 až 200 μm) jsou válcovány jednotlivě, ale v případě válcování tenkých fólií (5 až 70 μm) jsou válcovány dvojité [4], [9], [10].

Válcování za tepla

Při válcování za tepla se bloky ohřívají v peci na teplotu válcování (cca 400 až 500 $^{\circ}\text{C}$) v souvislosti s charakterem slitiny (obr. 1.8). V oblasti těchto teplot se materiál chová více plasticky a deformační zpevnění se nerealizuje.



Obr. 1.8. Proces válcování za tepla [4].

Speciální vlastnosti lze získat procesem homogenizace – jedná se o ohřátí materiálu při delší výdrži na teplotě (cca 550 až 620 $^{\circ}\text{C}$). Bloky se pak ihned válcují a provádí se změna tloušťky úběru mezi válci. Výsledkem je pak konečná tloušťka nebo mezitloušťka (plochý vývalek), který se dále doválcuje na jednosměrných tratích. Hmotnost bloku se pohybuje v rozmezí 3 až 20 tun [4], [9].

1.5.2 Lisování hliníku

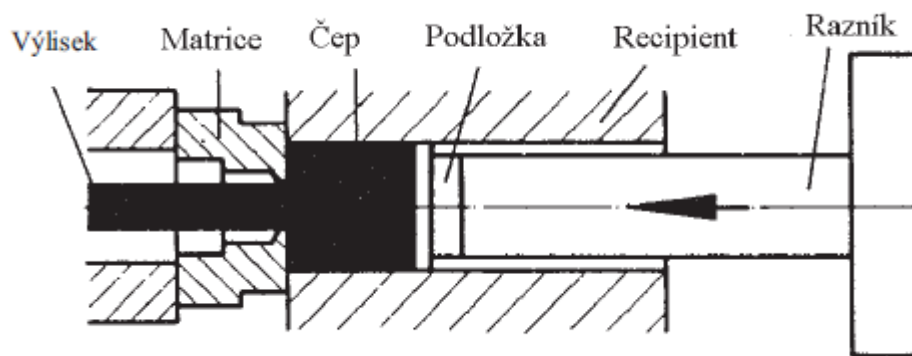
Průtlačné lisování

Průtlačné lisování se charakterizuje jako metoda pro tvářecí procesy hliníku a slitin hliníku. Devízou tohoto lisování je, že i při malém počtu dějů se dají vyrábět odlišné druhy výlisků, a to buď s jednoduchým nebo složitějším průřezem, zároveň se u těchto výlisků dosahuje vysoké rozměrové přesnosti a kvalitního povrchu [4].

➤ Přímý způsob lisování

Tento druh lisování je nejběžněji používaný (obr.1.9). Uspořádání je následující: matrice se vyskytuje v pevné poloze, s pomocí razníku se tlačí na nahřátý čep ve směru proti matici. Jedná se o metodu, která se používá pro lisování hliníku a jeho slitin kvůli svojí jednoduchosti uspořádání. Výhody jsou: poměrně malé vzdálenosti výstupu z matrice a místa ochlazení výlisku.

Při tomto lisování se lisování provádí bez namazání čepu, matrice se maže. Přímé lisování bez mazání se označuje tzv. „na košili“, průměr kruhové podložky je menší v porovnání s recipientem (cca o 1-2 milimetry). Tak se po obvodu odřízne nekvalitní vrstva na povrchu čepu – „košile“. Nevýhody jsou: vysoké množství odpadu a objemu materiálu [4].

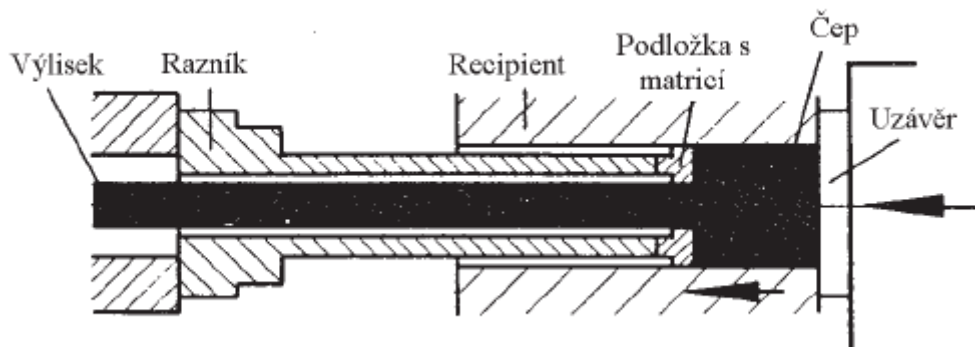


Obr.1.9. Přímé lisování [4].

➤ Nepřímý způsob lisování

Jeho smysl v současné době poměrně narůstá (obr.1.10). Uspořádání je následující: matrice je uchycena v dutém a pevném držáku razníku. Lisovaný čep a kontejner se natlačují na matici. Výlisek se pohybuje proti matici opačným směrem než v případě metody přímého lisování. Tření v oblasti materiálu a kontejneru není tak výrazné jako u přímé metody, proto se

snižují nároky na lisovací sílu (v rozmezí od 20 do 30 %). Lisovací tlak se sníží cca o 70 %. Nízký lisovací tlak je vhodný pro lisování výlisku o menším průřezu. Pokud se zvýší průměr čepu a sníží teplota, pak je možné dosáhnout vyšší lisovací rychlosti [4].

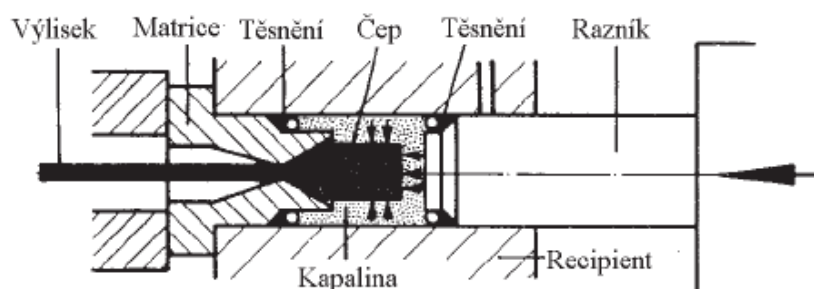


Obr.1.10. Nepřímé lisování [4].

➤ Hydrostatické lisování

Materiál se pohybuje stejně jako u přímého lisování. Princip je následující: Pomocí razníku se realizuje stlačení kapaliny obklopující čep. Kapalina se zároveň používá pro mazání čepu. Při tomto uspořádání se v konstrukci lisu objevuje spousty těsnění v oblastech mezi: razník - recipient, matrice – recipient, čep – recipient. Rychlost lisování je vyšší v porovnání s metodou přímou a nepřímou (obr.1.11).

Dosahuje se zde stejně jako u přímé a nepřímé metody podobných tolerančních rozměrů. Čep se zde neohřívá, naopak výlisky při tomto lisování mohou dosahovat teplot až 500 °C. Hydrostatické lisování se uplatňuje při lisování **těžce tvářitelného kovu**, u **slévarenské slitiny** (Al, Mg) nebo u **menších objemových profilů** (tyče využívající se pro elektrotechniku). Nevýhodu tohoto lisování je cena [4].



Obr.1.11. Hydrostatické lisování [4].

1.6 STRUKTURNÍ VADY HLINÍKU NA MIKROSTRUKTUŘE

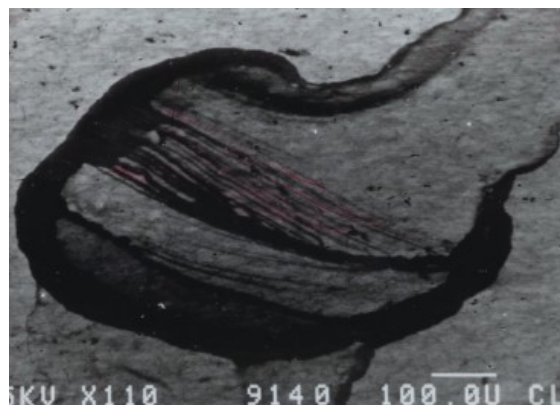
Částice s různou velikostí a nerozpustností v hliníku tzv. „cizorodé částice“ (v řádech μm až mm) jsou považovány v jeho struktuře za vměstky. Vměstky je možné rozdělit na „exogenní“ – tady se jedná o zbytek směsi, soli a částice vyzdívky, další typem jsou „endogenní“ – tady se jedná o oxidické blány, kovové oxidy, nitridy, karbidy, spinely. Vměstky se považují v tavenině za nepřislušné, vedou ke snížení kvality materiálu, dále se zhoršují mechanické vlastnosti a odolnosti vůči korozi. Pro odstranění nerozpustných vměstků se využívá řada metod: profukování taveniny, odstávání taveniny, vakuování, filtrace taveniny.

Oxidické blány

Hliníková tavenina je při reakci s kyslíkem pokryta tenkou vrstvičkou resp. oxidickou blánou. Vměstky „oxidické blány“ se tvoří v případě, že část blány se dostane do nitra taveniny. Vměstky oxidických blan jsou ve velikostech mikrometrů a milimetrů. Oxidické blány se mohou v tavenině tvořit už v samotné peci nebo také při licím procesu materiálu (obr 1.12-13).



Obr. 1.12. Slitina „AlZn6Mg2Cu1.5“ s typickou oxidickou blánou z optického mikroskopu [4].

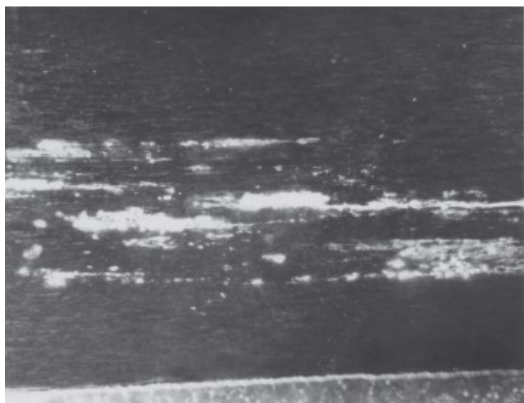


Obr. 1.13. Slitina „AlZn6Mg2Cu1.5“ s typickou oxidickou blánou z rastrovacího elektronového mikroskopu [4].

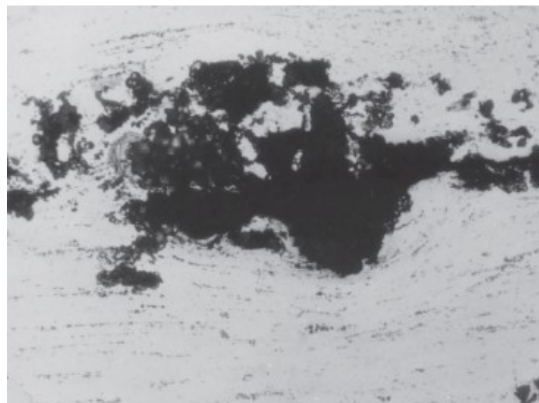
Oxidické vločky

Tyto vměstky se označují jako nerozpustné částice cizorodého charakteru v hliníku (oxidické částice kovů, nekovové prvky). Oxidické vločky jsou přítomné především v hliníkových slitinách s obsahem hořčíku. Původ vzniku těchto vměstků je většinou souvislý s přípravou taveniny (oxidace hořčíku při procesu legování, zbytky solí atd.) nebo se vměstky do taveniny zanesou. V tomto případě je příčinou špatný technologický postup - chyby při legování, přehřátí taveniny aj. Občas se také vločky nacházejí v čistém hliníku nebo u slitin bez hořčíku – v takovém případě se jedná většinou o to, že v pecním procesu byl použit kov

s obsahem hořčíku a pec se dostatečně neočistila. Oxidické vločky se tvoří díky tomu, že u slitiny s obsahem hořčíku je vznik oxidické blány rychlejší než v případě slitin hliníku bez hořčíku. Oxidická vrstva je obvykle složena z MgO (krystalický) a Al_2MgO_4 (spinel). Oxidická vrstva se tvoří při vyšších teplotách a u slitin s vyšším obsahem Mg – jedná se směs kovu a oxidu, má schopnost dobře pohlcovat světlo (černá vrstva) (obr.1.14-15) [4].



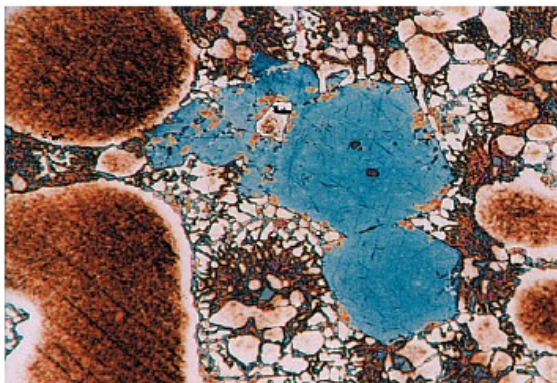
Obr. 1.14. Slitina „AlMgSi“ a její makrostruktura – shlukuje se zde velký podíl vměstků kopírující směr válcování [4].



Obr. 1.15. Slitina „AlMgSi“ a její mikrostruktura ve stejné oblasti shluku vměstků [4].

Nerozpuštěné kovy a předslitiny

Při nesprávném technologickém postupu během legování slitiny hliníku kovy a předslitinami se můžou legující prvky nedostatečně rozpustit, vyskytují se v podobě **velkých částic a shluků**. To vede ke vzniku nehomogenního materiálu. Nedostatečné rozpuštění legujících prvků je způsobeno především těmito faktory: nízké teploty kovu během legování, nedostačující expozice na teplotě, nedostačující promíchání taveniny a vysoký obsah legujícího prvku (obr.1.16) [4].



Obr. 1.16. Silumim AlSi7Mg0.3 (podeutektický) – po tlakovém lití, jsou zde shluky pravidelných částic – modře zbarvené [4]

1.7 VYTVRZOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

Precipitačním zpevněním – vytvrzováním je možné měnit u slitin řadu vlastností (mechanické, fyzikální i technologické). Důležitým předpokladem je, že tyto slitiny se vyznačují změnou rozpustnosti legujícího prvku podle rovnovážného diagramu. Změnou rozpustnosti v tuhém roztoku α se dosáhne vytvoření přesyceného tuhého roztoku [4].

Precipitační zpevnění se rozděluje na:

- **Rozpouštěcí žíhání:** se označuje jako ohřev slitiny na vhodnou teplotu, pak následuje výdrž slitiny na této teplotě po dobu nutnou, to je nezbytné proto, aby se uskutečnilo rozpouštění jedné nebo více fází v tuhém roztoku, poté je na řadě rychlé ochlazování, buď kritickou nebo nadkritickou rychlostí, tak je dosaženo přesyceného tuhého roztoku.
- **Stárnutí:** je děj při kterém se mění substruktura, to vede ke změně mechanických, fyzikálních a technologických vlastností. Realizace stárnutí je buď za pokojové teploty, v tomto případě se mluví o „**přírozeném stárnutí**“ nebo za zvýšené teploty tzv. „**umělé stárnutí**“. Další z variant je tzv. „**stupňovité stárnutí**“, tento děj se provádí při dvou nebo více teplotách [4].

Slitiny Al-Mg (určené pro tváření, série 5000)

Slitiny tohoto typu jsou využitelné nejen v oblasti strojírenství, ale také v potravinářství, jsou charakteristické svojí korozní odolností, dobrými mechanickými vlastnostmi, obrobitelností a svařitelností.

Binární diagramy vykazují rozpustnost hořčíku v hliníku v tuhém stavu, avšak tyto slitiny nelze vytvrzovat. Důvodem je velká nestabilita α tuhého roztoku, ten se rozpadne už při ochlazování z teploty ohřevu, a to i při vysoké rychlosti ochlazování. Za ideální teplotu rekrystalizačního žíhání se bere interval 300 – 350 °C.

Rozpouštěcí žíhání u slévarenských slitin je vhodné realizovat v rozmezí 425 – 435 °C, tak je zaručena odolnost proti interkrystalické korozi. Tady platí výjimka, že rozpouštěcí žíhání se neuskutečňuje za účelem vytvrzení slitiny (navýšení pevnosti), nýbrž za účelem zvýšení korozních vlastností [4].

1.8 APLIKACE HLINÍKU A JEHO SLITIN

1.8.1 Využití hliníku v dopravním sektoru

Použitím hliníku v konstrukci automobilu se ušetří až třetina hmotnosti – a tím i značně úspora paliva. Redukcí hmotnosti o 100 kg se ušetří až 4 litry paliva na 1000 km. V důsledku toho se snižují emise znečišťujících látek. Lehkost materiálu je předpokladem i pro další výhody: moderní městské autobusy s hliníkovou karoserií jsou o mnoho stovek kilogramů lehčí než tradiční městské autobusy. S danou maximální hmotnostní přípustností je možné tedy přepravit více osob a podnikové provozní náklady se snižují. U tahačů s návěsem se provádí náhrady materiálu v kabině řidiče, v rámu, částech motoru a skříní převodovek, tak se ušetří až několik tun hmotnosti a je možné realizovat vyšší užité zatížení (obr.1.17) [11].

Železniční dopravní sektor

Staré časy „železných“ vlaků jsou pryč. V současné době je mnoho nosných prvků vlaku (potah ICE) vyrobeno kompletně z hliníku. Teprve poté je možné dosáhnout po železnici rychlosti od 350 km/h. Čtyři z pěti potahů jsou vyrobeny u tramvají a podzemních vlaků v západní Evropě právě z hliníku. Proto je dnes vhodnější termín „**Alubahn**“ než „Eisenbahn“.



***Obr. 1.17.** Využití hliníku v 21. století v železniční dopravě a letecké dopravě [11].*

Letecký dopravní sektor

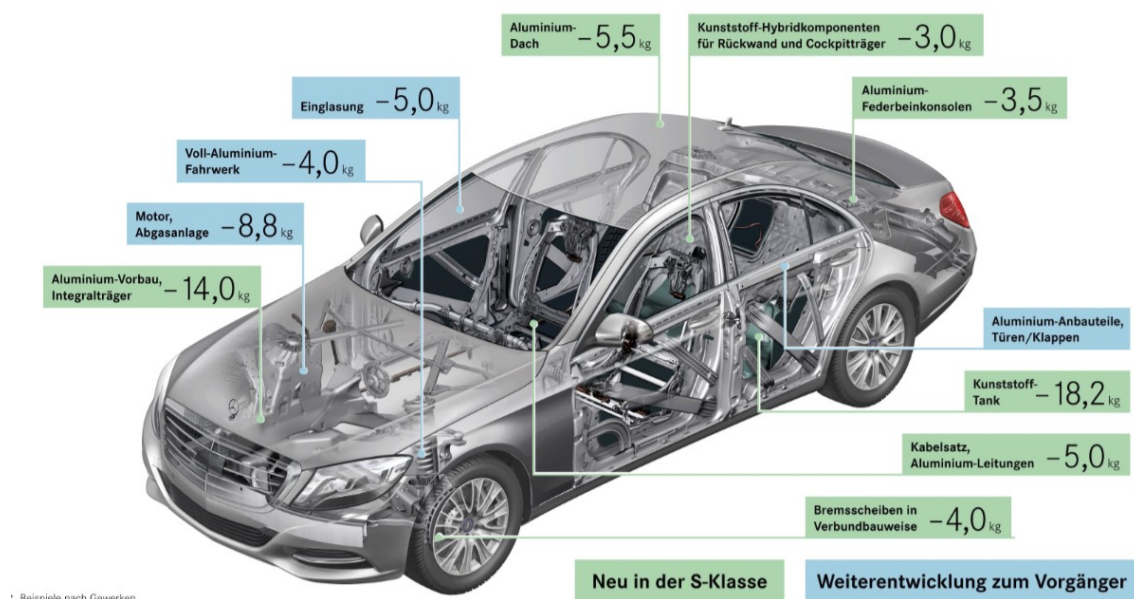
Pro výrobu letadel je hliník zlatá střední cesta z důvodu nízkých nákladů, nízké hustoty, vysoké pevnosti a odolnosti proti korozi. Hliníkové konstrukční díly jsou odolné při vysokých zátěžích: Přes mnoho vzletů a přistání s extrémním zrychlením a brzdovými manévry jsou trup a křídla odolné proti únavovému porušení, jsou nerozbitné po mnoho let, a to převážně díky hliníkovým slitinám.

Hliník a letectví jsou v 21. století dva úzce spojené pojmy. U inovativním kompozitních materiálů „GLARE“, které se používají u supermoderních a velkoprostorových letadel „Airbus 380“ se hliník zapojuje do souhry se skleněnými vlákny – tento extrémně lehký materiál je odolný zejména vůči lomovému porušení [11].

Automobilový dopravní sektor

Automobilový průmysl je jeden z nejdůležitějších hnacích motorů pro hliníkový průmysl. Trend lehkých konstrukcí, obzvláště pak zejména z pohledu elektromobilů (elektrická vozidla) se může projevit v následujících letech na trhu silným nárůstem poptávky po hliníku.

Poptávka automobilového průmyslu po hliníku se v posledních letech značně zvýšila. To se týká téměř všech oblastí: kola, podvozek, motor, vybavení a karoserie. Použití hliníku v karoseriích se zdesetinásobilo od roku 1998 k dnešnímu dni a to z 5 kilogramů na 50 kilogramů (obr.1.18-19) [11], [12].



Obr. 1.18. Mercedes-Benz S-Klasse – redukce hmotnosti s použitím hliníku oproti předchůdci až o 95 kilogramů [12].

Především u prémiových modelů Mercedesu, BMW nebo Audi je mnoho povrchových dílů jako je kapota, dveře od kufru nebo střecha vyrobeno z hliníku. Zvláště Audi je jeden ze zákazníků pro odběr hliníku díky svým prémiovým modelům (model A8 nebo SUV Q7).

Záslouhou inteligentní a inovativní lehké konstrukce je hliníková hybridní karoserie Mercedes-Benz C-Class asi o 70 kg lehčí než tradiční zhotovení z oceli. Celková hmotnost vozidla dokonce klesá o 100 kilogramů, proto je třída C „lehký šampion“ ve svém segmentu.

To se vyplácí několika způsoby: Při použití lehké konstrukce se snižuje spotřeba paliva až o 20 procent bez ztráty výkonu a současně je umožněno nižší těžiště a tím výrazně sportovní a agilní vlastnosti [11], [12].



Obr. 1.19. Využití hliníku v automobilovém dopravním sektoru - cca 1,5 milionu vozidel má přední a zadní podvozek z válcovaného hliníkového polotovaru od firmy „Hydro“ [11].

Pro mnoho výrobců automobilů jsou výhody hliníku zřejmé: lehký materiál, snadno zpracovatelný a všestranný. Výroba hliníku je však spojena s vysokými náklady. Nevýhodou hliníku je, že nehody způsobují škody rychleji v hliníku než v oceli. Proto jsou od pojišťoven požadovány vysoké poplatky u takových automobilů, kde se nachází vysoký podíl hliníku [11,12].

Lodní dopravní sektor

Moderní lodě se vyznačují tím, že jsou lehké, snadno ovladatelné a zároveň stabilní, odolné a dlouhověké. S hliníkovými slitinami, jaké se dnes používají u moderních jachet a lodí se dají tyto požadavky snadno realizovat. Zásadou intenzivního výzkumu a vývoje jsou dnešní moderní hliníkové materiály silnější, odolnější vůči korozi, slané vodě, větru a počasí – ať už se jedná o jachtu, plachetnici nebo trajekt (obr.1.20) [11], [13].



Obr. 1.20. Využití hliníku v lodním průmyslu [13].

1.8.2 Použití hliníku ve stavebnictví

Hliník jako moderní stavební materiál je charakteristický svým neomezeným spektrem využití: od fasád, dveří, oken, střešních a stěnových systémů, mostních a nosných konstrukcí až k interiéru obytných prostorů. Více než 500 tisíc tun hliníku se zpracovává každoročně v Německu pro stavební projekty. Ať už z pohledu stavbyvedoucího nebo architekta, lze konstatovat, že hliník je svými vlastnostmi ideální pro požadavky z hlediska funkce, hospodárnosti a designu.

Hliník se vyznačuje výhodou, že se nespaluje a nevyvíjí žádné toxické plyny nebo páry. Bod tání hliníku je 660 °C – teplota, která je značně nad úrovní ostatních stavebních materiálů, a proto je zajištěna optimální požární bezpečnost. Hliník je specifický svou nízkou hmotností a zároveň vysokou pevností – tak se šetří energie, usnadňuje se zpracování a jsou umožněny velmi otevřené konstrukční metody pro větší prostor a životní styl, stejně jako architektonickou vzrušující dokonalost (obr.1.21-22) [11].



Obr. 1.21. Obrázek vlevo: *sedmý nejvyšší mrakodrap na světě „Taipeh 101“ s hliníkovou fasádou, obrázek vpravo:* *střecha filharmonie v Hamburku z hliníku [11].*

Příkladem je sedmý nejvyšší mrakodrap „**Taipeh 101**“ na Tchaj-wanu s výškou 509 m. Kvůli své hliníkové fasádě je schopný se bránit rychlosti větru až 200 km/h a zároveň je odolný zemětřesení až do úrovně 5 stupnice Richterovy škály. Jedná se o nejbezpečnější budovu na Tchaj-wanu při zemětřesení a tajfunu. Hliník se také používá pro speciální řešení na zpevnění. Například při stavbě mostů nebo u protipovodňové ochrany. Nejvíce vzrušující budovy na zemi se nebojí používat hliník; např. **Elbphilharmonie** v Hamburku, **Allianz aréna** v Mnichově, **Sony Center** na Potsdamer Platz v Berlíně s hliníkovým skleněným průčelím, **Imperial War**

Museum v Manchesteru s jeho vstupní věží nebo ve **Skandinávském centru** v Århusu s fascinující střešní konstrukcí.

Tepelná a zvuková izolace je optimálně provedena s použitím hliníku. Příjemné vnitřní klima je v létě zajištěno kvůli hliníkovým oknům, dveřím a fasádám a zároveň se brání chladu v zimních měsících. Také je snížena doba stavebních prací, většina hliníkových dílů je již z velké části zhotovena ve výrobě a kvůli nízké hmotnosti se přepraví i velké konstrukční díly. Doba montáže na staveništi se tak výrazně sníží [11].



Obr. 1.22. Využití hliníku jako fasáda ve stavebním odvětví [11].

Stejně jako kůže, tak s pomocí hliníkových fasád a střech je zajištěna ochrana budovy před vnějšími vlivy. Hliník je charakteristický svou odolností proti korozi při počasí a může se využít i bez další ochrany povrchu. Použití hliníku je vhodné pro jeho velkou trvanlivost a nulovou údržbu. Pomocí různých metod se můžou povrchy hliníku upravovat a dekorativně navrhovat. Výstavba obytných, komerčních, kancelářských a průmyslových budov je jedna z nejdůležitějších oblastí využití hliníku.

Výhody hliníku ve stavebním průmyslu:

- hliník se vyznačuje nízkou hmotností a zároveň dobrou stabilitou,
- s hliníkem je možné stavět funkčně a ekonomicky,
- hliník dovoluje přímý a ucelený design,
- hliník je ekologický.

Díky svým vlastnostem a univerzálním aplikacím je hliník téměř všude, dá se využít i ve spoustě jiných odvětví – **strojírenství, obalová technika, elektrotechnika, v designu, medicíně, domácnosti, volném čase a ve spoustě jiných odvětvích** [11].

1.9 POVRCHOVÁ ÚPRAVA HLINÍKU A JEHO SLITIN

Povrchová úprava je technologická operace pro zlepšení povrchových vlastností materiálu (zvýšení korozní odolnosti, zlepšení funkčních vlastností). Povrchovou úpravou se dosahuje změny struktury u povrchové vrstvy, uměle se vytváří nové povrchové vrstvy s rozdílnými fyzikálními i chemickými vlastnostmi [16], [18].

Povrchové úpravy – dle účelu se dělí:

- čištění a předběžná úprava,
- povrchová úprava ke zvýšení korozní odolnosti,
- povrchová úprava se zaměřením na vzhled materiálu (design),
- povrchová úprava pro docílení specifických vlastností.

Povrchové úpravy – dle charakteru povrchové vrstvy:

- anorganické (oxidové, kovové a keramické),
- organické (nátěrové, plastové).

Povrchové úpravy – dle způsobu vzniku povrchové vrstvy:

- pomocí chemických reakcí,
- proces galvanický, elektrochemický,
- s využitím vakua,
- chemicko – tepelné procesy,
- máčení, stříkání, polévání a plátování.

V průběhu chemických úprav se uskutečňuje reakce chemických činidel s povrchovou nečistotou materiálu. Spadá sem proces **odmašťování, leštění a moření**. S pomocí těchto dějů se připraví povrch materiálu pro aplikaci povlaků. Mezi nejcitlivější na absolutní čistotu povrchu se řadí „galvanické povlaky“, naopak nátěrové a difúzní povlaky jsou méně citlivé.

Rozdělení nečistot:

- **ulpělé nečistoty:** jedná se o mastnoty, fleky se zachyceným prachem, zůstatky leštící a brusné pasty – přilínají na povrch zásluhou fyzikální síly. Dosahují tenkých nebo silných tloušťek,
- **chemicky vázané nečistoty:** řadí se mezi produkt koroze (rez, okuje). Pro odstranění se používá mechanické čištění nebo proces odmaštění.

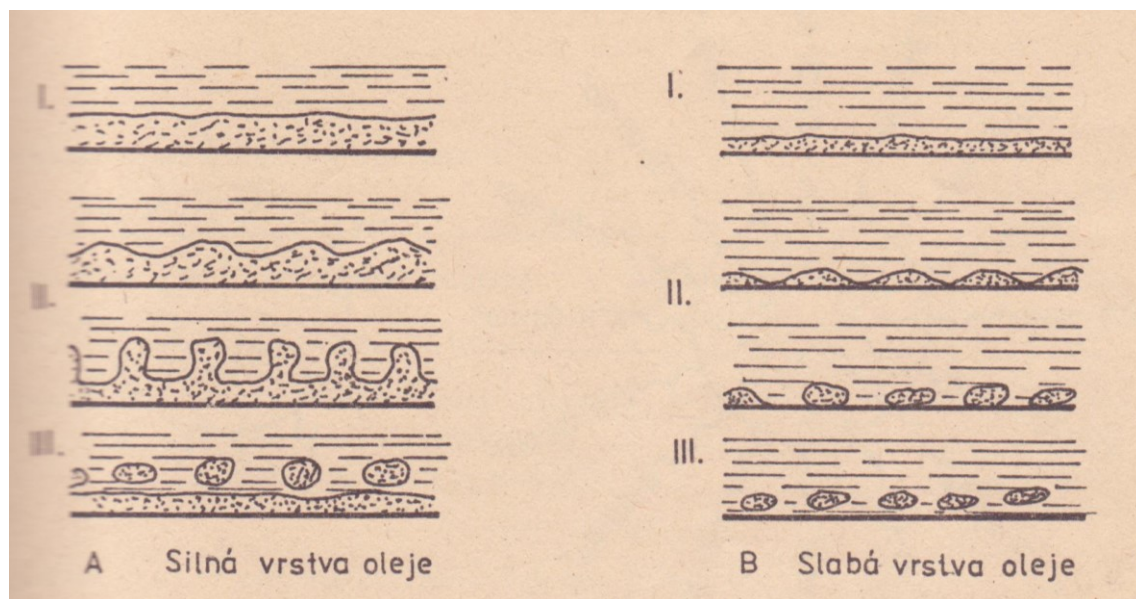
1.9.1 Odmašťování

Cílem odmaštění je odstranění různých minerálních mazadel, olejů, nekovové vměstky, prach, mýdlové emulze a ostatní nečistoty (obr.1.23-24).

Alkalické odmašťování

Podstatou tohoto procesu je, že se neutralizují mastné kyseliny a přecházejí do roztoku (rozpustná mýdla). **Minerální mastnoty:** tady se řadí **olej, vazelína a vosk** – průběh odmaštění o něco složitější z důvodu jejich neschopnosti „nezmýdelnění“. Minerální mastnoty se nejlépe odstraňují za zvýšených teplot, emulgují v podobě drobných kapek do roztoku odmašťovadla.

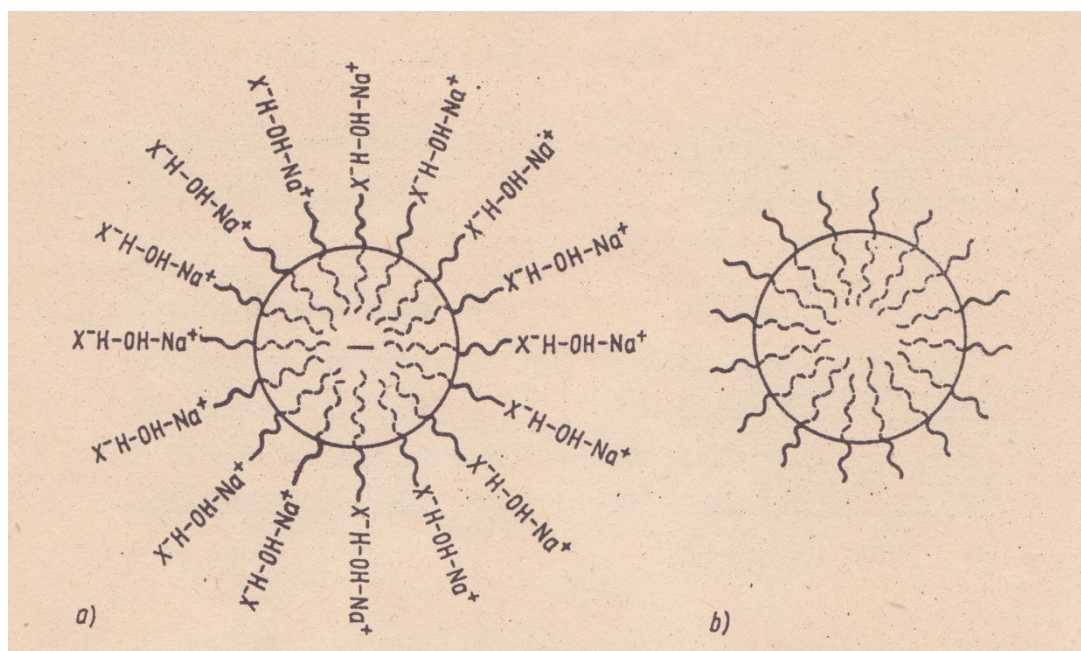
Alkalická odmašťovadla jsou tvořena louhy, sodou, fosforečnany, uhličitany, křemičitany, aktivní látkou na povrchu a emulgačním činidlem. Roztoky musí splňovat určité požadavky, jako je dostatečná alkalita, tak se zabrání hydrolýze mýdla ($\text{pH} > 10,2$). Při navýšení alkality roste koroze lehkého a barevného kovu. Teplota roztoku se pohybuje u ponorného odmašťování oceli cca více než $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, u postřiku minimálně $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, u lehkých a barevných kovů zhruba $70 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ [16], [17].



Obr. 1.23. *I – vrstva mastnoty na povrchu – souvislá, II – dochází k narušení souvislé mastné vrstvy s pomocí roztoku k odmaštění, III – odstranění částic mastnoty z povrchu [16].*

Účinný charakter alkalických rozpouštědel je založen na koloidním chemickém procesu (tj. emulgace a dispergace mastnoty), zmýdelnění mastnoty a také v zamezení redepozice nečistoty na povrchu materiálu. Dřívější odmašťovadla byla složena z hydroxidu sodného, fosforečnanu sodného a křemičitanů. Dnes se používají odmašťovadla s obsahem aktivní látky

(tenzidy, alkalické složky). Při aplikaci povrchově aktivní látky během procesu odmašťování se zvýší účinnost odmašťování, proces je rychlejší a úspornější (nízké ztráty energie) [16].



Obr. 1.24. Na obrázku lze vidět olejovou kapku v tenzidovém přípravku [16].

Odmašťování organických rozpouštědel

Odmašťování v organických rozpouštědlech je proces velice rozšířený, jeho uplatnění se nachází v oblasti, kde není možné uplatnit alkalický roztok. Proces organických rozpouštědel spočívá v rozpuštění mastnoty, tak se uvolní i jiné povrchové nečistoty. Jedná se o proces poměrně rychlý, **využívá se pro očištění hrubé vrstvy** (oleje, tuky), dále také i na členité povrchy.

Mezi základní předpoklady dobrého rozpouštědla se řadí dobrá rozpustnost všech typů nečistot, stálost, nejedovatost a nehořlavost. Při aplikaci rozpouštědla na hrubou nečistotu (petrolej, nafta) se pak musí realizovat odmašťování v benzínu nebo uhlovodících. Nejčastěji používaný chlorovaný uhlovodík je **trichloretylén** – mezi jeho schopnosti patří nehořlavost, dobrá rozpustnost mastnot, vosků, asfaltu, živců, dehtu. Trichloretylén se rozloží při působení slunečního nebo ultrafialového záření s následným vznikem kyseliny solné, ta může vést ke korozi materiálu [16].

Elektrolytické odmašťování

Elektrolytické odmašťování se charakterizuje jako nejúčinnější proces odmaštění, aplikuje se při náročné povrchové úpravě (galvanické pokovování). Uskutečňuje se v ocelové

vaně s výztuží skla. Principem je elektrolyza, realizuje se disociace látek s pomocí galvanického proudu.

Na katodě se vyloučí vodík s alkalickým kovem, ten je nestálý a tvoří vazbu s vodou na tzv. alkalický hydroxid (NaOH). Zavěsí-li se předmět na katodu – odmašťování je zintenzivněno v důsledku chemického působení hydroxidu a mechanického odtrhávání mastnot za vzniku bublinek vodíku – tady je nevýhoda difúze vodíku do povrchu a to způsobuje tzv. „**vodíkovou křehkost**“.

Mezi nejvýznamnější a nejšchopnější odmašťování se řadí katodicko – anodické odmašťování: tady jsou předměty odmašťovány určitý čas na katodě a menší čas na anodě (v poměru času 3:1). Bipolární odmašťování se aplikuje na čištění plechových pásů, drátů v kontinuální lince. Výrobky se pohybují v oblasti pásů elektrod v roztoku pro odmaštění.

Elektrolytické odmašťování se provádí s dvěma druhy lázní: **kyanidové lázně** (vysoká schopnost odmašťování, nevýhodou je jedovatost a nesnadná neutralizace), **bezkyanidové lázně** (skládá se z hydroxidu sodného, fosforečnanu sodného a kalcinované sody, teploty přesahují víc jak 80 °C). Pro katodový cyklus je možné použít prostředek „Synalod 60“, pro anodový cyklus „Synalod 65“ [16], [17].

Vysokotlaké kapalinné odmašťování

Tento proces spočívá v účinku proudící vody s vysokým tlakem (až 60 MPa). Aplikuje se čistá voda s přísadami inhibitorů. Mezi výhody se řadí zejména kvalita odmašťování povrchu a snadné čištění odpadní vody. Vysokotlaké kapalinné odmašťování se využívá na obrovské plochy.

Odmašťování v neutrálním roztoku

Tady se využívají k účinnému odmašťování vodních roztoků saponátů (dubaryl). Používá se na odmašťování předmětů o velkých rozměrech. Nelze uplatnit tam, kde se využívá ponorného a postřikového odmašťování – důvodem je pění [16].

2 EXPERIMENTÁLNÍ HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU HLINÍKOVÉ SLITINY

2.1 CHARAKTERISTIKA DODANÝCH SLITIN

Vzorky slitiny AlMg3 byly dodány pro zkoumání firmou PWO Czech Republic a.s. z Valašského Meziříčí.

Tyto hliníkové plechy jsou nejdříve válcovány a lisovány, pak procházejí za působení tlaku procesem mytí pod nehalogenickými uhlovodíky při teplotě 70 °C, následuje mytí pod parou při teplotě 120 °C s konečným dosušením (obr. 2.2).

Ve firmě PWO Czech Republic a.s. je dlouhodobým problémem kvalitní odmaštění povrchu hliníkových plechů, což staví společnost do stavu, kdy není schopna zaručit požadovanou kvalitu lisovaných dílů po odmaštění. Požadavek zákazníka na kvalitu mytí je **min. 36 mN/m**, dosahované výsledky z mytí z PWO Czech Republic a.s. jsou mezi **32-38 mN/m**. Hlavní nedostatek pak nastává u zákazníka, kdy se na umyté hliníkové plechy nanáší lepidlo (obr. 2.1 a 2.3). Před samotnou aplikací lepidla je povrch hliníkového plechu aktivován plazmovým paprskem, tím se zvýší povrchové napětí a změní se povrchové vlastnosti tak, aby následně lepidlo drželo pevně.

Tady však dochází k situaci, kdy plazmový paprsek není schopen zvýšit povrchové napětí, lepidlo pak dost dobře nedrží na povrchu. Otázkou tedy je, co brání povrchu hliníku, aby byla zajištěna dostatečná přilnavost povrchu s lepidlem. V minulosti byly provedeny analýzy v laboratorním výzkumu v Německu, kdy bylo zjištěno, že hořčík případně síra můžou mít na tady tento jev velký vliv.

Ve své diplomové práci jsem se zaměřil výhradně na materiálovou analýzu. V této práci jsem se nezaměřil na analýzu odmašťovací linky (možnost výskytu vad díky stroji), jelikož bylo různými měřeními potvrzeno, že problémy nejsou způsobeny strojem či samotným procesem mytí. A zároveň bylo vyvráceno, že na kvalitu mytí má vliv uspořádání dílů v koši, počet kusů v koši apod. Všechny provedené testy byly uskutečněny při jednom mycím programu, který měl stejné parametry po celou dobu.



Obr. 2.1. Vlevo: Lisované hliníkové díly AlMg3, vpravo: Fotka hliníkového dílu po destrukčním testu.



Obr. 2.2. Pračka ve firmě PWO Czech Republic a.s. určená pro mycí proces odmaštění hliníkových dílů.



Obr. 2.3. Inkousty ve firmě PWO Czech Republic a.s. k určení povrchového napětí na povrchu slitiny hliníku, jsou rozhodujícím kritériem pro určení přilnavosti.

2.2 ANALÝZA POVRCHU HLINÍKOVÉ SLITINY NA ELEKTORONOVÉM SKENOVACÍM MIKROSKOPU

Elektronový skenovací mikroskop (SEM) „JEOL – JSM-6490LV“

V případě zkoumání „povrchového napětí“ neumožňuje analýzu prvních třech atomárních povrchových vrstev, k tomu se využívá jen velmi speciální a specifický Auguerův mikroskop, který dokáže ty první dvě tři atomární vrstvy analyzovat. Zároveň není možné analyzovat drsnost povrchu, k tomu se využívá konfokální mikroskop. U tohoto mikroskopu jsou k dispozici detektory **BSE** – zpětně odražených elektronů a **SE** – sekundárních elektronů (obr. 2.4).



Obr. 2.4. Skenovací elektronový mikroskop JEOL – JSM-6490LV.

Detektory

- **SE – DETEKTOR SEKUNDÁRNÍCH ELEKTRONŮ:** sekundární elektrony, jsou vhodným signálem pro zobrazení **povrchového reliéfu** (morfologie povrchu).
- **BSE – DETEKTOR ZPĚTNĚ ODRAŽENÝCH ELEKTRONŮ:** zpětně odražené elektrony, jsou charakteristické větší energií v porovnání se sekundárními elektrony, jsou emitovány z mnohem větší hloubky – stovky nm pod povrchem vzorku. BSE mají horší rozlišení, to je dáno tím, že jsou vyzařovány z větších objemů. Pomocí BSE lze získat „**materiálový kontrast**“ – což je závislost při změně kontrastu na středním atomovém čísle v oblastech snímaného preparátu. Zpětně odražené elektrony jsou také

vhodné pro studium viditelnosti různé orientace zrn – „**kanálování elektronů**“ a využívají se i při studiu **topografického kontrastu**.

Elektronový mikroskop odebírá **EDX analýzu** (Energiově disperzní rtg mikroanalýza) k identifikaci prvků pomocí rozkladu charakteristického rtg záření podle energií z hloubky 1 μm , tzn. první dvě tři atomární povrchové vrstvy jsou zcela ignorovány. S pomocí EDX analýzy se tedy získají informace pod povrchem nikoliv na povrchu (informace jsou odebrány z hloubky). EDX analýza není schopna registrovat tisíce procent i desetiny představují problém, jedná se o rychlou analýzu, ale s velkou nepřesností. Výstupem z tohoto měření je spektrum intenzity rtg záření v závislosti na energii rtg záření.

2.2.1 Porovnání povrchových vlastností hliníkových slitin AlMg3

Zadavatel v první fázi požaduje porovnání dvou hliníkových plechů s přidělenou šarží lisování, které vykazují rozdílné povrchové napětí. Jedná se o hliníkový plech AlMg3 se šarží **16 216** (s vyhovujícím povrchovým napětím **36-38 mN/m**) a hliníkový plech AlMg3 se šarží **23 017** (s nevyhovujícím povrchovým napětím **34 mN/m**) (tab. 2.1). K tomuto účelu bude provedena analýza hliníkových slitin na elektronovém mikroskopu na katedře materiálového inženýrství VŠB TU v Ostravě.

Tab. 2.1. Hodnoty povrchového napětí u dodaných slitin.

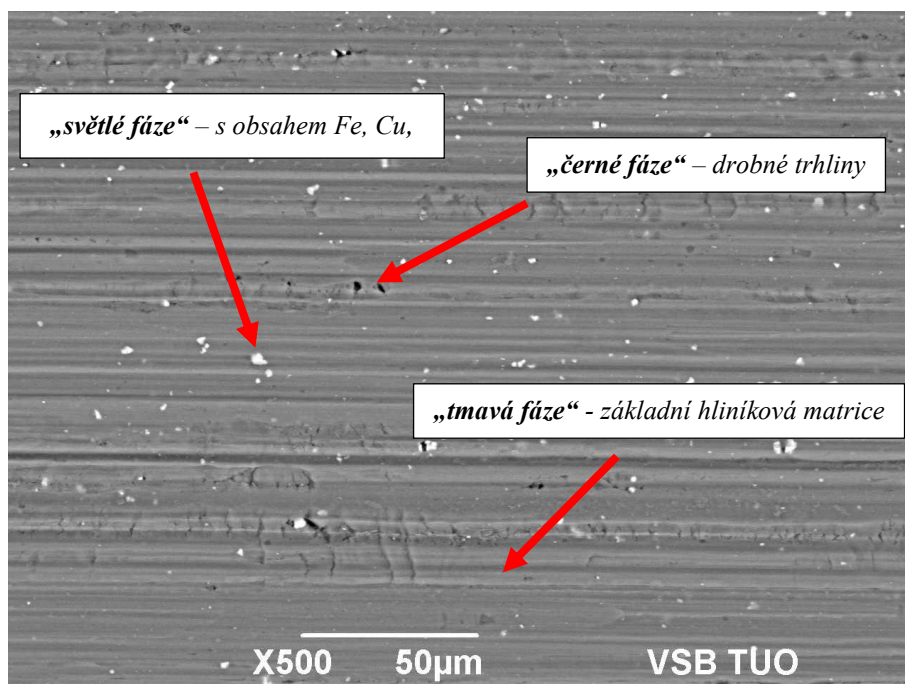
Šarže hliníkových slitin	Povrchové napětí σ [mN/m]
16 216	36-38
23 017	34

2.2.2 Analýza slitiny AlMg3 (16 216)

Hliníkový plech AlMg3 byl před zkoumáním elektronovým mikroskopem připraven v laboratoři VŠB TUO na preparát o rozměru 2,5 x 2,5 cm a očištěn acetonem, tím se plech zbaví nečistot a zároveň je pak lépe při vyfocení sekundárními elektrony vidět morfologie na jeho povrchu.

Při studiu elektronovým mikroskopem slitiny AlMg3 šarže 16 261 byla provedena detekce **BSE (zpětně odražené elektrony)**. Ve struktuře slitiny se objevují běžné stopy po lisování a tváření. Pomocí BSE jsou vidět světlé fáze ve struktuře, které jsou pravděpodobně bohaté na těžké prvky – jde o fáze, které se v hliníku vylučují během tuhnutí (obr. 2.5). Tyto

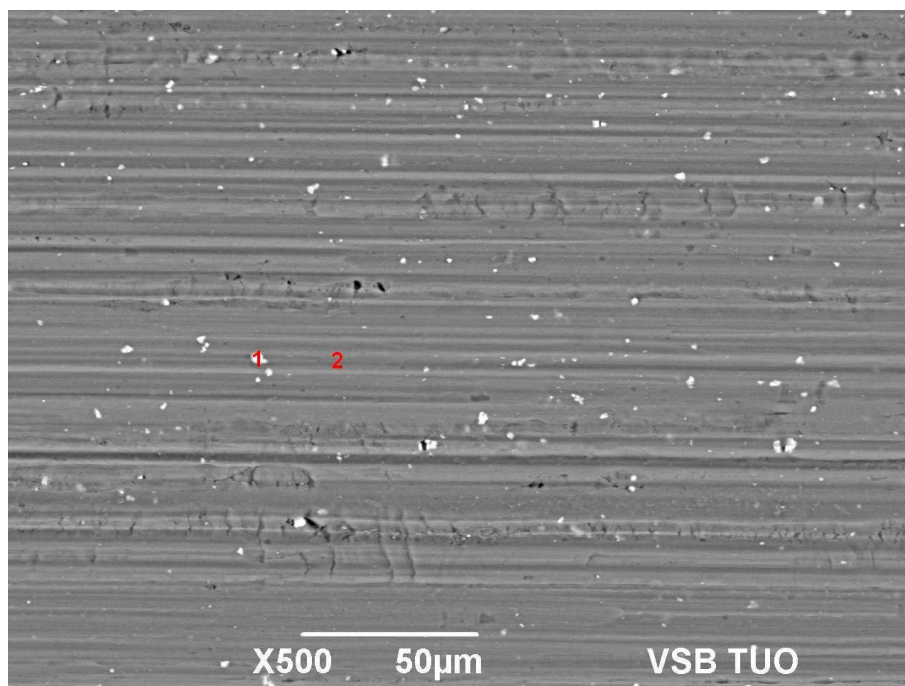
fáze jsou mnohem tvrdší a křehčí než základní tmavá hliníková matrice (šedá oblast). Černé body ve struktuře jsou drobné trhliny, které mají vliv na pevnostní vlastnosti slitiny.



Obr. 2.5. Slitina AlMg3 šarže 16 216 ze signálu „BSE“ s typickou tmavou hliníkovou matricí a světlými fázemi vyloučenými v hliníku.

Energiově disperzní analýza (EDX analýza) se využívá k identifikaci prvků ve struktuře. U slitiny AlMg3 se šarží 16 216 byla použita plošná energiově disperzní analýza a lokální energiově disperzní analýza tzn. v nějakém konkrétním místě vzorku, snímá lokálně jednotlivé fáze. Analýza „C“ je u tohoto mikroskopu kvantitativně nemožná, jelikož dochází k řetězení uhlovodíků. Taktéž analýza neumožňuje identifikaci sloučenin.

Při lokální analýze ve světlé fázi v **místě 1** ve struktuře se ukazuje, že tyto fáze jsou bohaté na Fe, Mn, Cu. Železo se zvýšilo až na hodnotu cca 22 %. V šedé oblasti téměř čistého hliníku při použití lokální analýzy v **místě 2** se vyskytuje přes 90 % Al, naopak prvky jako Cr, Fe, Cu nebyly identifikovány (obr. 2.6). Plošné analýzy byly provedeny 3, ve všech případech se vyskytuje srovnatelné množství Al okolo 90 %, typické pro hliníkovou matrici. Obsah Cu je téměř nepatrný a obsah S nebyl zachycen (tab. 2.2). Charakteristické rtg čáry pro jednotlivé spektrální série jsou vidět v obrázcích níže (obr. 2.7 a 2.8).



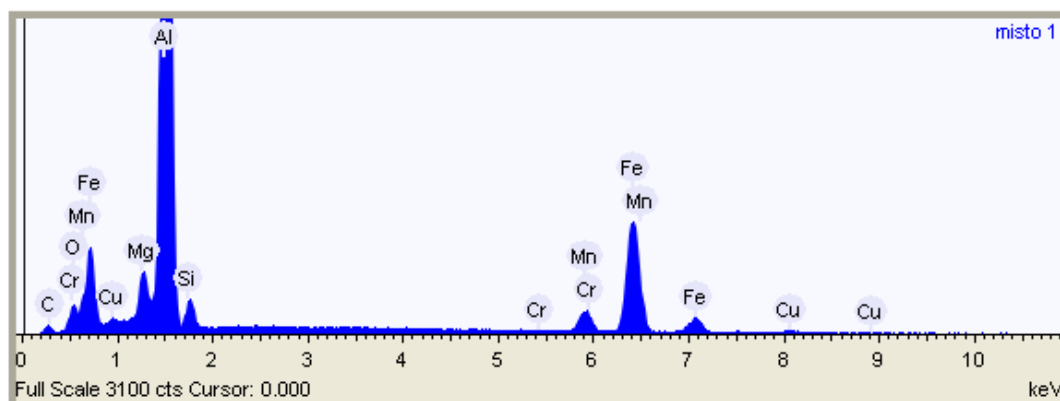
Obr. 2.6. Slitina AlMg3 šarže 16 216 při identifikaci lokální energiově disperzní analýzy v místě 1 (bílá fáze) a v místě 2 (šedá fáze).

Tab. 2.2. Chemické složení EDX analýza lokální a plošná v hm.%.

Name	O	Mg	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu
lokální - místo 1	5,15	1,90	65,15	2,41	0,04	3,32	21,17	0,87
lokální - místo 2	3,04	3,31	93,36			0,29		
plošná 3	4,98	3,64	90,49	0,16	0,12	0,15	0,30	0,17
plošná 2	5,55	3,82	89,75	0,09	0,08	0,20	0,38	0,14
plošná 1	5,04	3,56	90,80	0,08	0,00	0,26	0,26	0,00

Spectrum details

Project 16216.ipj
Spectrum name misto 1



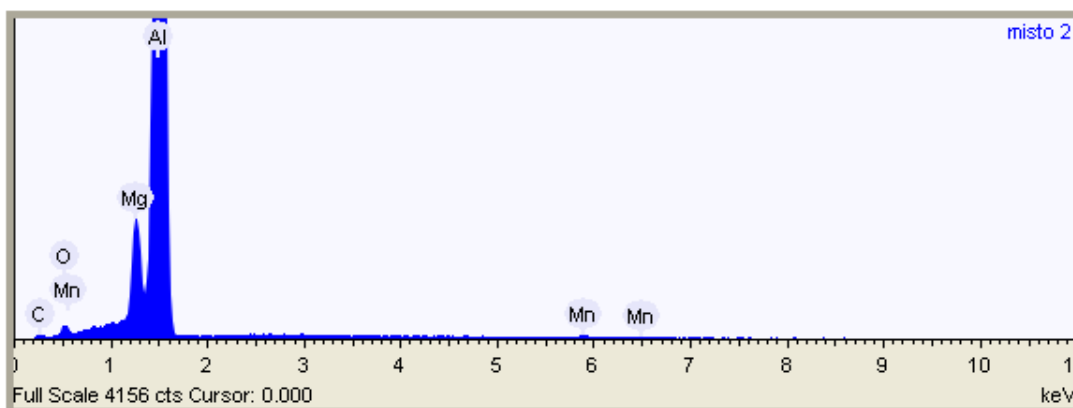
Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Oxygen	5.165	0.353	9.623
Magnesium	1.908	0.098	2.340
Aluminum	65.128	0.360	71.954
Silicon	2.406	0.114	2.554
Chromium	0.040	0.068	0.023
Manganese	3.316	0.131	1.800
Iron	21.173	0.245	11.302
Copper	0.863	0.143	0.405

Obr. 2.7. Spektrum EDX lokální analýzy v místě 1 u slitiny AlMg3 se šarží 16 216.

Spectrum details

Project 16216.ipj
Spectrum name misto 2

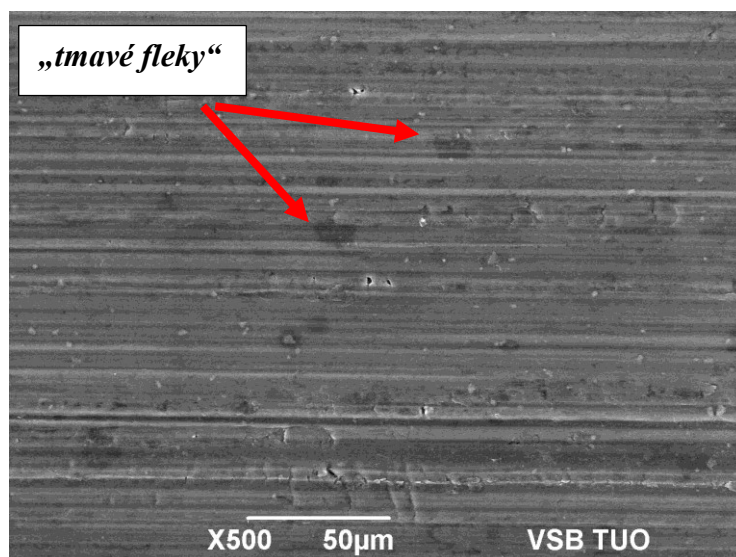


Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Oxygen	3.037	0.282	5.006
Magnesium	3.308	0.082	3.589
Aluminum	93.364	0.292	91.265
Manganese	0.291	0.078	0.140

Obr. 2.8. Spektrum EDX lokální analýzy v místě 2 u slitiny AlMg3 se šarží 16 216.

Dále byla provedena detekce s pomocí **SE (sekundární elektrony)**, zde se nedá vidět materiálový kontrast. Lze zachytit jakýkoliv výstupek ve struktuře, každou trhlinu a taky jsou vidět tmavé stopy. U námi studované slitiny byly zachyceny kontaminované stopy na povrchu. Ty nejsou způsobené chemickým složením ve fázích, nýbrž s největší pravděpodobností vznikají při lokálním čištění, např. uhlovodíky. Může se jednat o zbytkovou mastnotu nebo i zbytky oleje (obr. 2.9).



Obr. 2.9. Slitina *AlMg3* šarže 16 216 ze signálu „SE“ s kontaminací na povrchu (tmavé fleky).

Chemické složení u kontaminovaných stop na povrchu na tomto přístroji nejde zjistit, protože se kontaminované stopy vyskytují na povrchu, jsou skoro téměř nahoře. Přístroj neukazuje mastnoty, vzorek se snažíme před analýzou mikroskopem co nejvíce odmastit, protože svazek reagující s mastnotou vše vysmaží, vše se vypaří do mikroskopu a mastnotou se kontaminuje zbytek mikroskopu. Při interakci svazku se tvoří uhlovodíky, proto nelze uhlík kvantitativně dobře vyhodnotit. K tomuto účelu se využívá tzv. **GD-OES analýza** – lze s ní stanovit chemické složení elektricky vodivého materiálu, ale i povrchové vrstvy (galvanické, nitridační i cementační vrstvy).

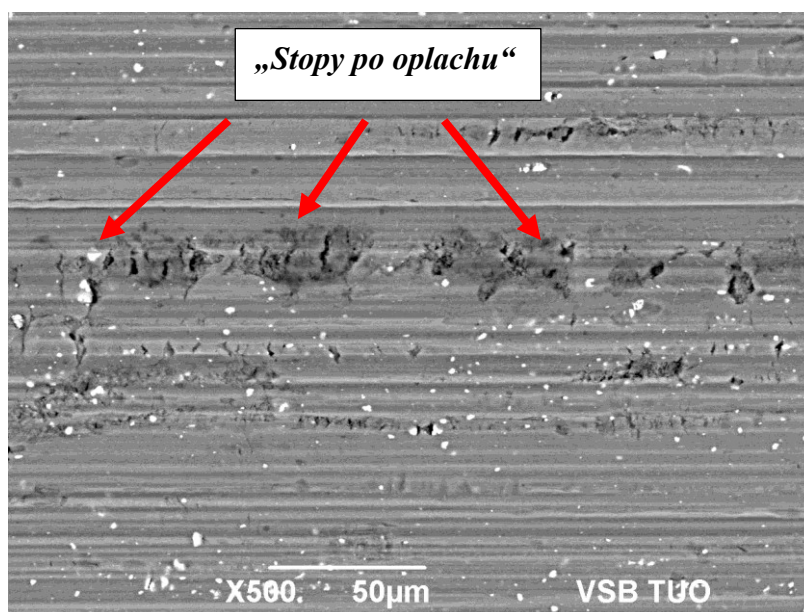
2.2.3 Analýza slitiny AlMg3 (23 017)

Hliníkový plech *AlMg3* šarže 23 017 byl před zkoumáním elektronovým mikroskopem připraven v laboratoři VŠB TUO na preparát o rozměru 2,5 x 2,5 cm a očištěn acetonem, tím se plech zbaví nečistot a zároveň je pak lépe při vyfocení sekundárními elektrony vidět morfologie na jeho povrchu. V prezentaci slitiny *AlMg3* šarže 16 216 nejsou uvedeny záznamy

s použitím SE (sekundární elektrony), při jejich použití nebyly vidět tak znatelné rozdíly jako při vyfocení BSE (zpětně odražené elektrony), které jsou vyzářeny z větší hloubky.

Signálem **BSE (zpětně odražené elektrony)** bylo u slitiny AlMg3 detekováno na první pohled více nesouvislých míst a mikrotrhlin, je pravděpodobné, že vznikají v materiálu už při lisování nebo válcování. Podle všeho je původ spíše z procesu lisování, to záleží na konkrétních mechanických vlastnostech materiálu, zejména pak např. na horší tvárnosti slitiny. Studované mikrotrhliny v materiálu byly i výrazně ostřejší a zasahují více do hloubky.

Trhliny na povrchu jsou místem, kde se může usazovat nějaká nečistota (oxidy, mastnoty), kterou nelze při procesu mytí dokonale odstranit, to vede podle všeho ke snížení přilnavosti povrchu. Signál byl výrazně slabší při detekci černých bodů v materiálu, tzn. trhliny jsou hlubší a jsou pokryty stopou po oplachu. Bylo také vidět, že nesouvislá místa mikrotrhlin a stopy po oplachu kopírují směr válcování materiálu. Ve slitině bylo nalezeno kvantitativně i více světlých fází v porovnání s první zkoumanou slitinou. Tyto fáze se vylučují při tuhnutí slitiny a jsou bohaté na obsah těžkých prvků (obr. 2.10).



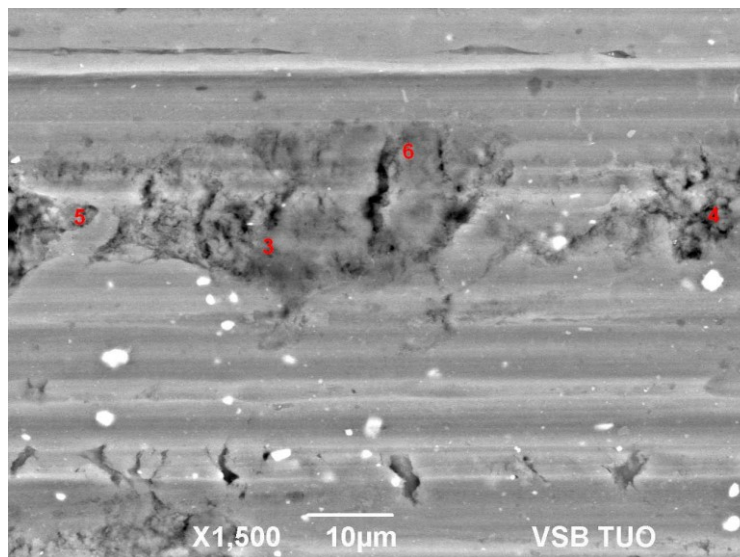
Obr. 2.10. Slitina AlMg3 šarže 23 017 ze signálu „BSE“ s vyšším obsahem světlých fází a mikrotrhlin pokrytých stopami po oplachu kopírující směr válcování.

Energiově disperzní analýza (EDX analýza) se využívá k identifikaci prvků ve struktuře. U slitiny AlMg3 se šarží 23 017 byla použita plošná energiově disperzní analýza a lokální energiově disperzní analýza tzn. v nějakém konkrétním místě vzorku, snímá lokálně jednotlivé fáze.

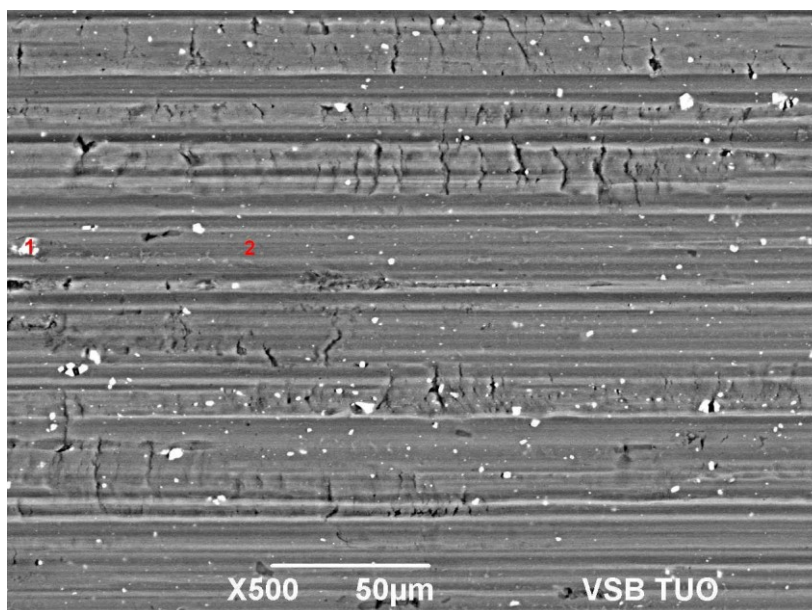
Při lokální analýze byly v tmavých místech materiálu detekovány oxidy hořčíku, celkově jsou tato místa bohatá na tyto oxidy v naší slitině. Při spojitosti hořčíku a kyslíku jsou tato místa tmavá. V místě 3 při lokální analýze byl obsah až téměř 8,3 % Mg. V místech 4,5,6 se pohybuje obsah od 4,8 do 5,5 % Mg. Světlá fáze v místě 1 byla bohatší na prvky Fe, Cu, Mn než v případě základní hliníkové matrice v místě 2 (obr. 2.11 a 2.12). Zvýšené množství oxidu hořčíku se neprojevilo u plošné analýzy, tady je obsah skoro totožný jako u slitiny **AlMg3 16 216** (tab. 2.3). Charakteristické rtg čáry pro jednotlivé spektrální série lze vidět v obrázku níže (obr. 2.13).

Tab. 2.3. Chemické složení EDX analýza lokální a plošná v hm. %.

Name	O	Mg	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu
lokální místo 1	2,33	1,58	65,13	2,22	0,13	7,68	20,69	0,24
lokální místo 2	5,12	3,63	91,25					
lokální místo 3	30,59	8,21	61,20					
lokální místo 4	22,90	4,78	71,60				0,72	
lokální místo 5	24,86	4,97	69,75				0,43	
lokální místo 6	22,39	5,55	72,06					
plošná 3	5,57	3,74	89,80	0,11	0,04	0,27	0,39	0,08
plošná 2	5,73	3,79	89,40	0,21	0,00	0,44	0,18	0,24
plošná 1	6,61	3,78	88,82	0,12	0,05	0,34	0,28	0,00



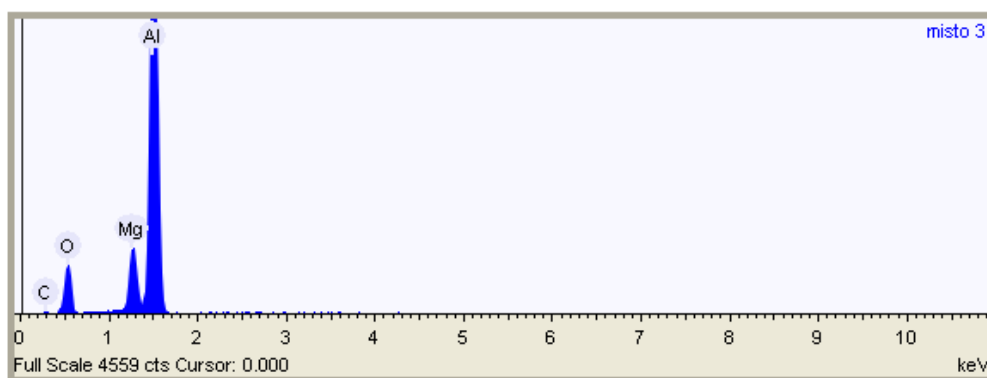
Obr. 2.11. Slitina **AlMg3** šarže 23 017 při identifikaci lokální energiově disperzní analýzy v místech 3,4,5,6 se zvýším obsahem oxidu hořčíku.



Obr. 2.12. Slitina AlMg3 šarže 23 017 při identifikaci lokální energiově disperzní analýzy v místě 1 - světlá fáze bohatá na Cu, Mn, Fe (22 %) a v místě 2 se základní hliníkovou matricí.

Spectrum details

Project 23017.ipj
Spectrum name misto 3



Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Oxygen	30.590	0.553	42.321
Magnesium	8.213	0.189	7.477
Aluminum	61.197	0.512	50.202

Obr. 2.13. Spektrum EDX lokální analýzy v místě 3 u slitiny AlMg3 se šarží 23 017.

2.2.4 Analýza slitiny AlMg3 (01 218)

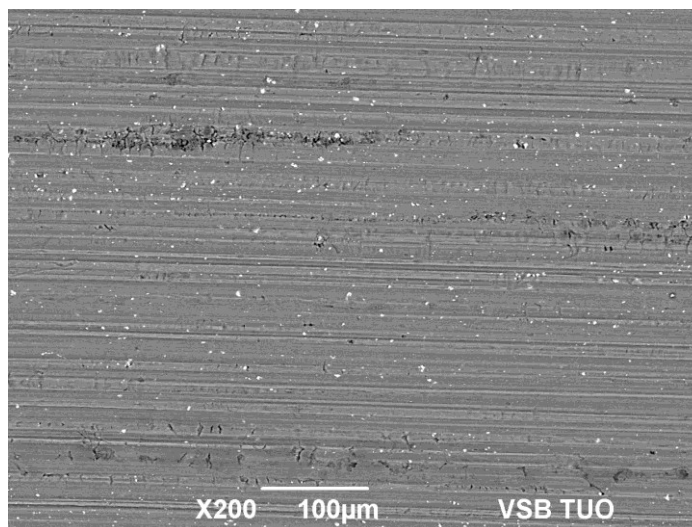
Druhá fáze experimentu bude provedena u hliníkového plechu *AlMg3 šarže 01 218* s tím rozdílem, že vzorek ze slitiny je odebrán ze stejných vytipovaných míst. Jsou vybrány 4 různé stavy vzorků k porovnání (tab. 2.4): **a) lisovaný díl po umytí + po vypálení v peci, b) lisovaný díl po umytí, c) válcovaný svitek po umytí, d) válcovaný svitek po umytí + pec.**

Tab. 2.4. Hliníkové slitiny šarže 01 218.

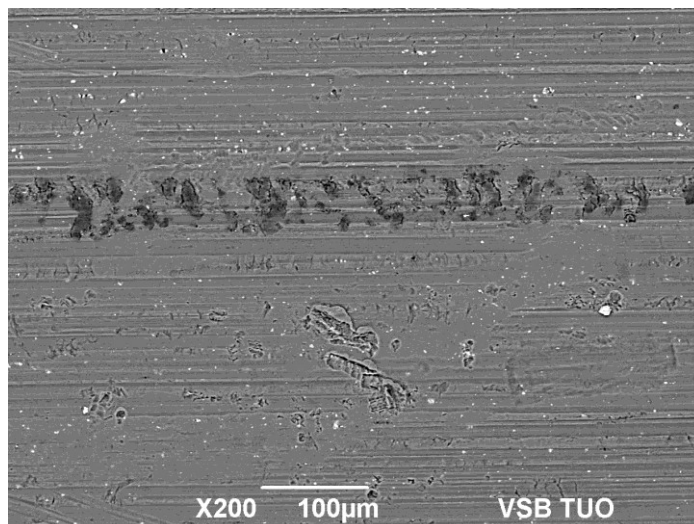
Označení	Hliníková slitina
A	lisovaný díl po umytí + pec (230 °C/3 min)
B	lisovaný díl po umytí
C	válcovaný svitek po umytí
D	válcovaný svitek po umytí + pec (230 °C/3 min)

Při studiu elektronovým mikroskopem slitiny AlMg3 šarže 01 218 byla provedena detekce **BSE (zpětně odražené elektrony)**. Ve struktuře slitiny byly objeveny opět nesouvislé oblasti „mikrotrhliny“ s nalepenými nečistotami, nejsou zde však zastoupeny v takovém množství jako u slitiny šarže 23 017. Struktura je výrazně čistější, bez průkazných změn.

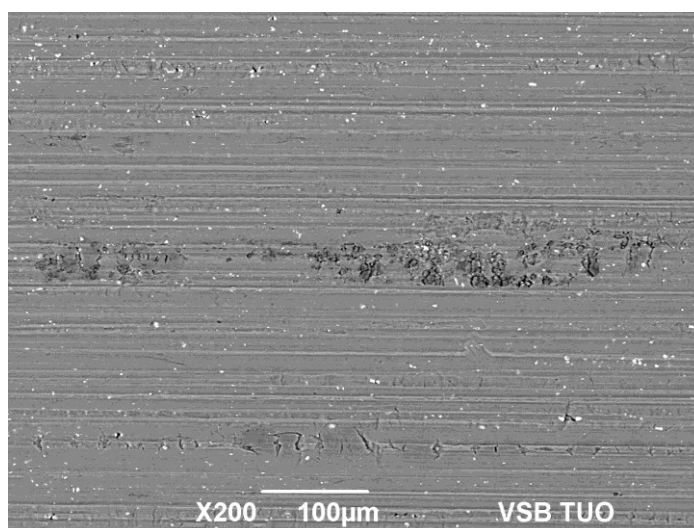
Slitiny hliníku „B“, „C“: Při použití EDX analýzy byla u slitin hliníku zjištěna povrchová oxidace cca 4 %. To je způsobeno tím, že hliník se na vzduchu ihned váže s kyslíkem (obr. 2.14 a 2.15). **Slitiny hliníku po pecním procesu „A“, „D“:** Tady bylo naměřeno, že oxidy zatlačené dovnitř materiálu zde zůstaly, naopak ale zmizely z povrchu slitiny. Oxidy se tady na povrchu nevyskytují v takovém rozmezí, nejsou tolik rozmazány, a navíc nejsou tolik vidět částice ve struktuře při porovnání se slitinou bez pecního procesu (obr. 2.16 a 2.17).



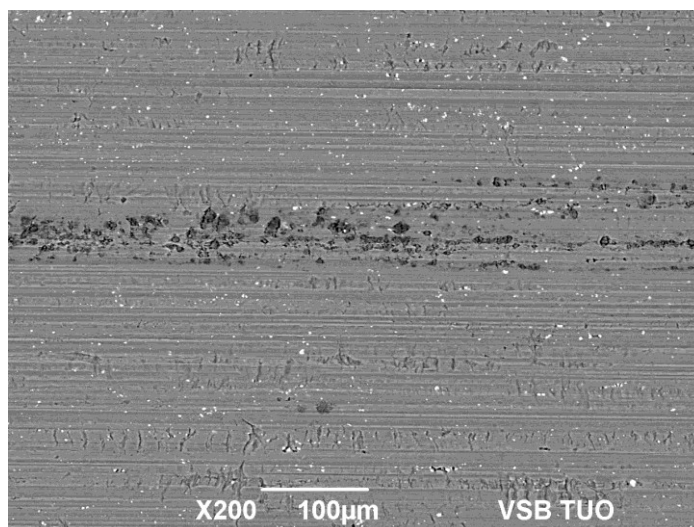
Obr. 2.14. Struktura slitiny AlMg3 „B“ – lisovaný díl po umytí, zvětšení 200x.



Obr. 2.15. *Struktura slitiny AlMg3 „C“ – válcovaný svitek po umytí, zvětšení 200x.*



Obr. 2.16. *Struktura slitiny AlMg3 „A“ – lisovaný díl po umytí + pec, zvětšení 200x.*



Obr. 2.17. *Struktura slitiny AlMg3 „D“ – válcovaný svitek po umytí + pec, zvětšení 200x.*

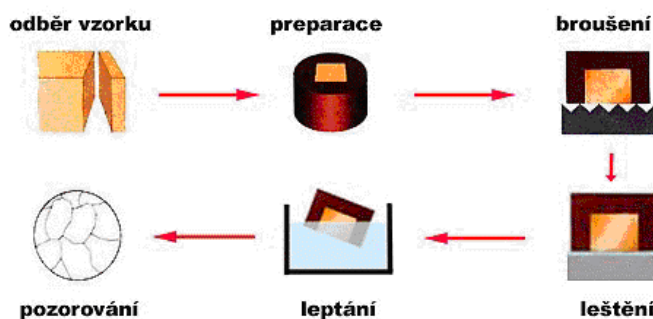
2.3 METALOGRAFICKÝ VÝBRUS HLINÍKOVÉ SLITINY

Před pozorováním a vyhodnocením struktury hliníkových dílů na světelném mikroskopu byl proveden metalografický výbrus těchto slitin. Při studiu struktury hliníkových dílů *AlMg3 šarže 01 218* byly vybrány pro srovnání 4 různé stavy vzorků (tab. 2.5.): **a) lisovaný díl po umytí + po vypálení v peci, b) lisovaný díl po umytí, c) válcovaný svitek po umytí, d) válcovaný svitek po umytí + pec.**

Tab. 2.5. Hliníkové slitiny šarže 01 218.

Označení	Hliníková slitina
A	lisovaný díl po umytí + pec (230 °C/3 min)
B	lisovaný díl po umytí
C	válcovaný svitek po umytí
D	válcovaný svitek po umytí + pec (230 °C/3 min)

Metalografie se zabývá vnitřní stavbou kovů a slitin. Podstatou je vyvolání struktury a následné studium na světelném mikroskopu (obr. 2.18).



Obr. 2.18. Schéma postupu metalografického výbrusu [19].

Postup práce metalografického výbrusu lze rozdělit na: **řezání, leštění, fixace vzorku** (lisování do bakelitu, zalévání vzorku do bakelitu), **broušení, leptání a vyvolání struktury pomocí kyselin a alkoholu.**

Řezání:

Hlinkové slitiny byly nejprve upnuty do držáku a rozřezány na rozbrušovací pile, tak se zajistila jejich optimální velikost pro následné upnutí do svorek a zalití do bakelitu. Slitiny byly dále označeny podle směru pozorování (příčný a podélný řez) (obr. 2.19).

Preparace za tepla:

Tento způsob se využívá u materiálu, kde se nezmění struktura vlivem působení teploty. Slitina hliníku byla nejdříve uložena do vyhřívané „tlakové nádoby“, dále byla slitina zasypána práškem s obsahem železa do výšky cca 1 cm, prášková hmota se během působení teploty a tlaku roztavila a dokonale obklopila hliníkovou slitinu. Po působení tlaku a teploty byla zapnuta voda a slitina se vychladila (obr. 2.19).



Obr. 2.19. Obrázek vlevo: rozřezávací pila pro odběr vzorku, obrázek vpravo: zařízení na preparaci vzorku za tepla.

Broušení:

Principem broušení je dostat vzorek do roviny, tak aby se vzorek mohl položit na mikroskop a byl vhodně pozorován. Pro broušení hliníkové slitiny byly připraveno 5 různých papírů s odstupňovanou zrnitostí (400, 600, 800, 1000 a 2000). Hliník je velice měkký, a proto byla lepší varianta nebrousit jej na hrubém papíře, tak se zabrání tomu, aby se zrníčka nezatlačila dovnitř struktury hliníku. Po každém broušení se na vzorku vytvořily rysky, vzorek bylo nutné opláchnout, aby se zrníčka nepřenesla na další papír s jinou zrnitostí. Při broušení na brusném papíře se zrnitostí 400 byla slitina hliníku broušena delší dobu, tak se odstraní podtečení bakelitu, v dalších procedurách se broušení provedlo jen krátce (obr. 2.20).

Leštění:

Cílem leštění je odstranění rysek po broušení, nedochází zde k odebírání hmoty, ale uskutečňuje se deformace povrchových nerovností. Slitina hliníku zalitá v bakelitu byla upnuta do držáku stroje, následně bylo provedeno nastavení otáček a přidání emulze smíchané

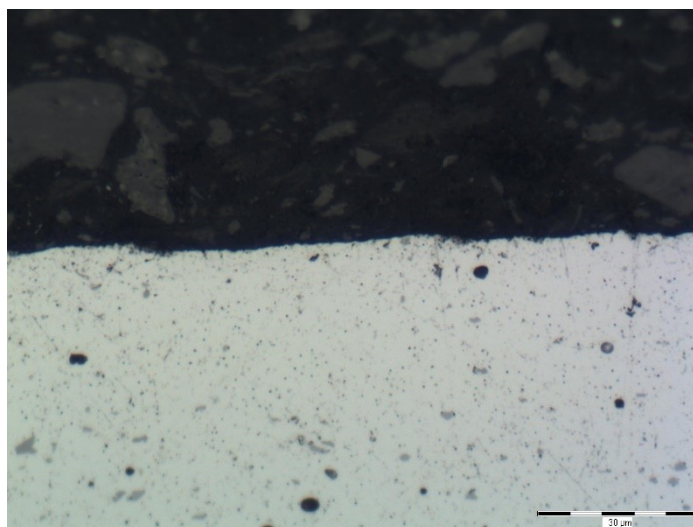
s diamantem. Po leštění byla slitina hliníku opláchnuta ve vodě, lihu a vysušena fénem (obr. 2.20).



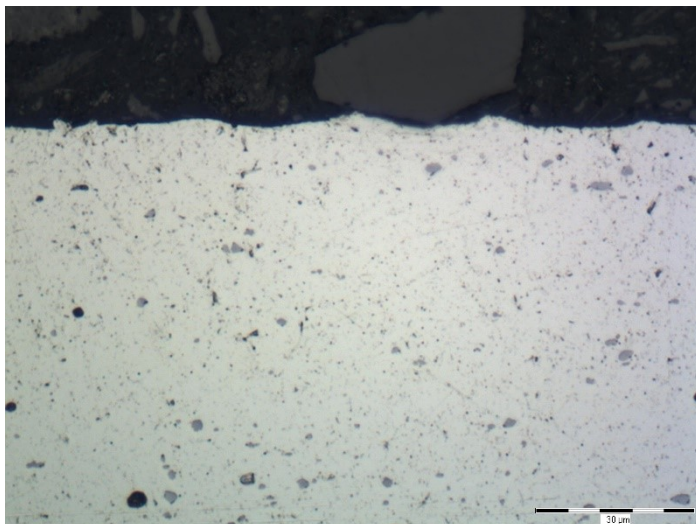
Obr. 2.20. Obrázek vlevo: Broušení s pomocí brusných papírů, obrázek vpravo: systém pro leštění vzorku.

Pozorování pod optickým mikroskopem:

Po vyleštění hliníkové slitiny bylo provedeno její pozorování pod světelným mikroskopem. Strukturu lze vyhodnotit následovně: Při pozorování vzorku v příčném řezu lze konstatovat, že reliéf povrchu je srovnaný, nevykazuje žádné napadení do hloubky. Ve struktuře se neobjevuje nic neobvyklého, obsahuje běžné fáze jako v případě pozorování na elektronovém skenovacím mikroskopu. Převážně se zde objevují šedé fáze, které jsou bohaté na obsah železa, ty se ve struktuře tvoří při tuhnutí slitiny (obr. 2.21 a 2.22).



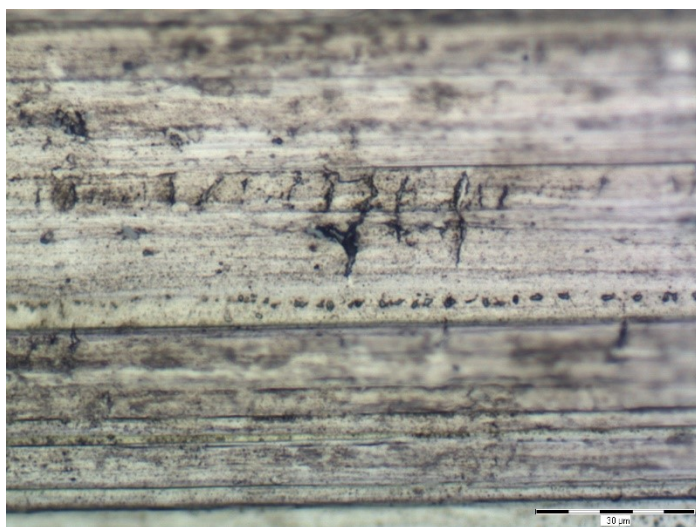
Obr. 2.21. Příčný řez struktury „A“ - lisovaný díl po umytí + pec, zvětšení 500x.



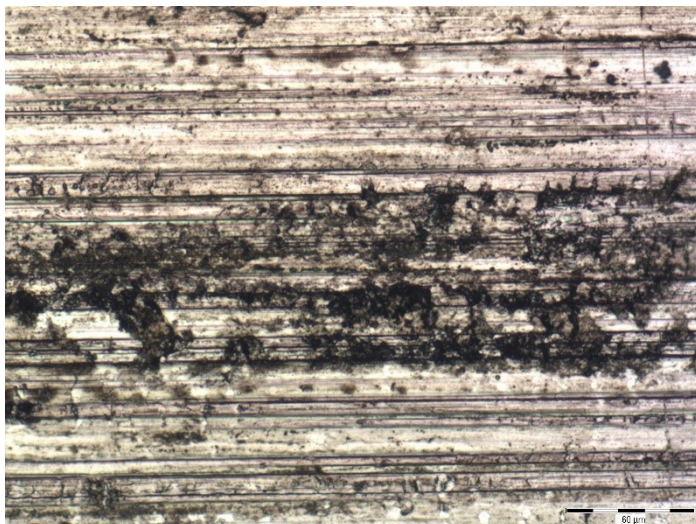
Obr. 2.22. Příčný řez struktury „D“ - lisovaný díl po umytí, zvětšení 500x

Při pozorování vzorku v podélném řezu jsou na struktuře slitin hliníku vidět typické směry válcování, místy se zde nachází nesouvislá místa, resp. „mikrotrhliny“, které byly detekovány na elektronovém skenovacím mikroskopu (obr. 2.23 až 2.26).

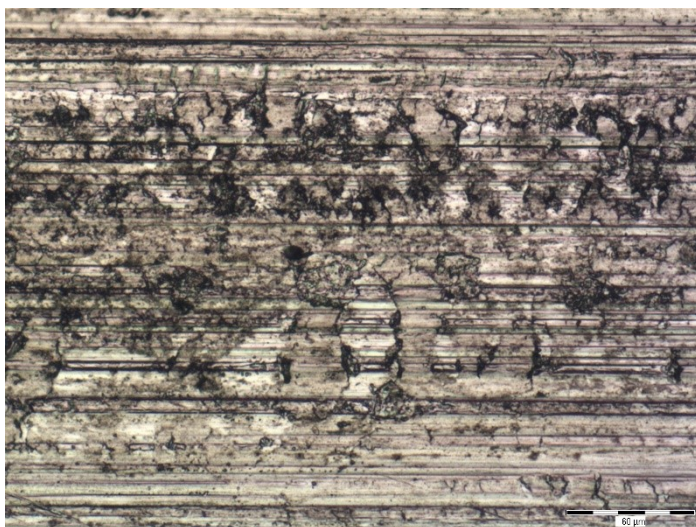
Po zdokumentování všech 4 dodaných stavů je možné usoudit, že na základě výbrusu v příčném řezu se neobjevuje vyložení nic, co by narušovalo strukturu do hloubky a ovlivňovalo její drsnost.



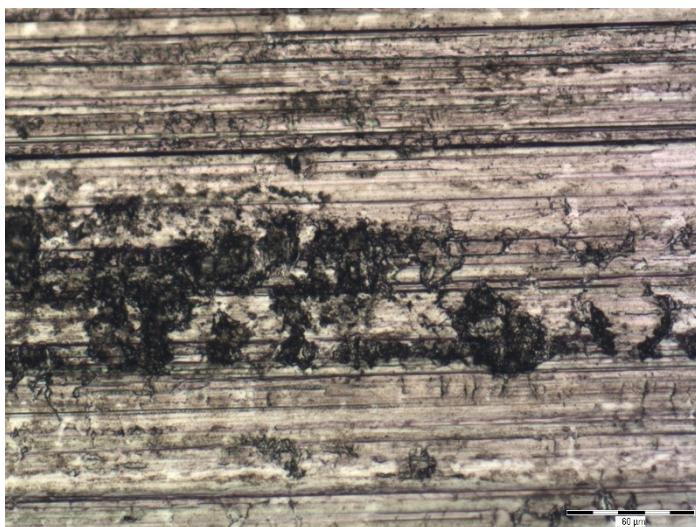
Obr. 2.23. Podélný řez struktury AlMg3 „A“ – lisovaný díl po umytí + pec, 500x.



Obr. 2.24. Podélný řez struktury AlMg3 „B“ – lisovaný díl po umytí, 500x.



Obr. 2.25. Podélný řez struktury AlMg3 „C“ – válcovaný svitek po umytí, 200x.



Obr. 2.26. Podélný řez struktury AlMg3 „D“ – válcovaný svitek po umytí + pec, 200x.

2.4 ELEMENTÁRNÍ ANALÝZA KYSLÍKU, DUSÍKU A VODÍKU

Funkční princip elementárního analyzátoru „ELTRA ONH 2000“:

Studovaný vzorek se vkládá do prázdného grafitového kelímku, ten se v průběhu analýzy odporově zahřívá v peci, do pece je vháněn inertní plyn z tlakové lahve (např. helium). Při dosažení vysoké teploty cca nad 2000 °C se vzorek v grafitovém kelímku roztaví. Uvolněné plyny se dopravují v proudu nosného plynu a dojde k jejich analýze. Dusík a vodík jsou uvolněny v základní podobě (N_2 a H_2). Realizuje se reakce mezi kyslíkem a uhlíkem (zdrojem uhlíku je grafitový kelímek) a přitom se vytváří oxid uhličitý, který je detekován s pomocí infračervených detektorů. Pomocí počítače se zintegruje plocha pod píkem a provede se výpočet pro nízké a vysoké koncentrace CO_2 . Stanovení koncentrace oxidu uhličitého se přepočítá na obsah kyslíku ve vzorku (obr. 2.27).



***Obr. 2.27.** Elementární analyzátor „ELTRA ONH 2000“.*

Analýza vzorků slitiny AlMg3 (01 218):

Při analýze na elementárním analyzátoru bylo provedenou u hliníkové slitiny *AlMg3 šarže 01 218* srovnání 4 různých stavů (tab. 2.6): **a) lisovaný díl po umytí + po vypálení v peci, b) lisovaný díl po umytí, c) válcovaný svitek po umytí, d) válcovaný svitek po umytí + pec.**

Tab. 2.6. *Hliníkové slitiny šarže 01 218.*

Označení	Hliníková slitina
A	lisovaný díl po umytí + pec (230 °C/3 min)
B	lisovaný díl po umytí
C	válcovaný svitek po umytí
D	válcovaný svitek po umytí + pec (230 °C/3 min)

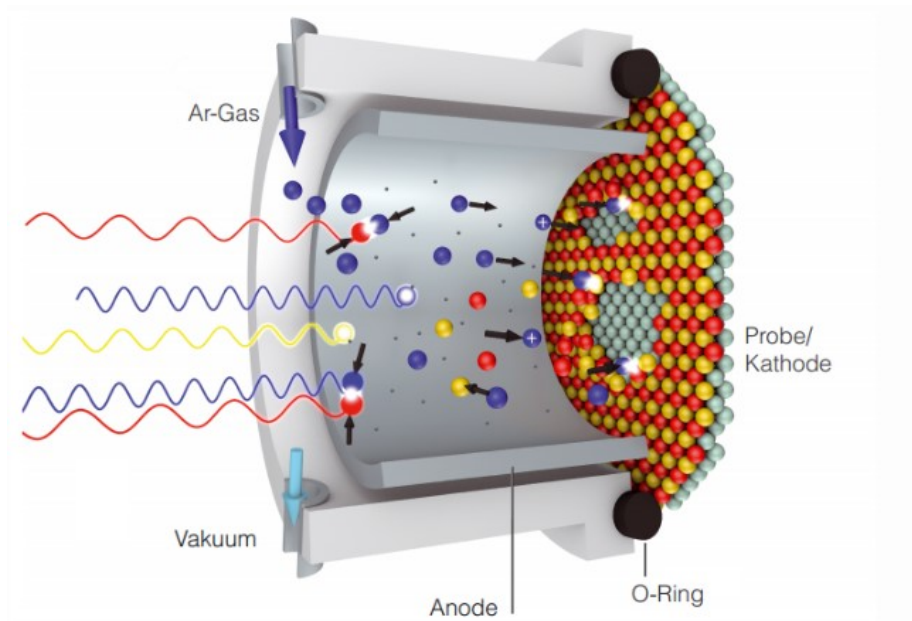
Vzorky byly před měřením očištěny v lihu a upraveny na požadovaný rozměr, tak aby propadly do podavače analyzátoru. Nejprve se začíná vstupním orientačním měřením, kdy se změří vzorek, na základě změřených hodnot kyslíku se vybere vhodný standard a provede se kalibrace. Při měření vysokých hodnot se používá standard s vysokou hodnotou a totéž platí naopak.

Při analýze hliníkových vzorků bylo zjištěno, že žádný typ vzorku neobsahoval kyslík nad mezí detekce a obsah dusíku se pohyboval v rozsahu 10 – 19 ppm. Možná příčina toho, že v hliníkových vzorcích byl detektován malý obsah kyslíku je extrémně nízká hmotnost hliníkových dílů. V případě detekce vyššího obsahu kyslíku nepředstavuje nízká navážka problém. Výsledky obsahu kyslíku a dusíku jsou uvedeny v tabulce 2.7.

2.5 OPTICKÁ EMISNÍ SPEKTROMETRIE S DOUTNAVÝM VÝBOJEM (GDOES)

Funkční princip GDOES:

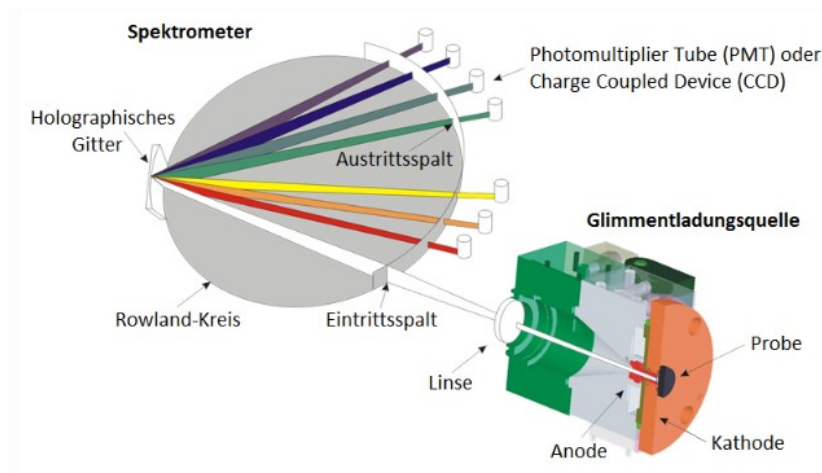
Optická emisní spektrometrie s doutnavým výbojem (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy, GDOES) je spektroskopická metoda pro kvantitativní a kvalitativní analýzu kovových a nekovových pevných látek. Při analýze se nachází argonový plyn ve zdroji výbojky při nízkém tlaku (0,5 hPa až 10 hPa). Mezi anodou a vzorkem (\triangleq katodou) se tvoří vysoké napětí. Díky tomu se na povrchu vzorku uvolňují elektrony a jsou urychlovány ve směru anody. Elektrony získávají kinetickou energii, která je zase odevzdána prostřednictvím nepružných srážek s atomy argonu. V důsledku srážek se atomy argonu ionizují, přičemž se tvoří argonové kationty a další volné elektrony. Hustota nosičů náboje se zvýší díky lavinovému efektu, izolační argon se stává vodivým a vzniká plazma (směs neutrálních atomů a nosičů volných nábojů). Argonové kationty jsou urychleny směrem k povrchu vzorku. Při nárazu na povrchu vzorku se přenáší kinetická energie argonových kationtů na atomy, které jsou na povrchu vzorku přítomny a vyraží je ze vzorku. Tento proces se nazývá odprašování nebo rozprašování.



Obr. 2.28. Podstata vybuzení doutnavým výbojem [20].

Vyražené atomy ze vzorku difundují do plazmy, atomy jsou pak v plazmě excitovány díky srážkám s vysokoenergetickými elektrony do energeticky aktivovaného stavu. Při návratu do základního stavu je atomy vyzářeno světlo, která vykazuje pro každý prvek charakteristické

spektrum vlnových délek. Vyzářené světlo prochází skrz vstupní štěrbinu na difrakční mřížku. Po rozkladu na mřížce a přechodu přes výstupní štěrbinu je od ní směřováno do detektorů [20].



Obr. 2.29. Schéma GDEOS [20].

Analýza vzorků slitiny AlMg3 (01 218):

Při analýze GDOES bylo provedeno srovnání 4 různých stavů hliníkových slitin **AlMg3 šarže 01 218**, stejně jako v případě analýzy kyslíku, dusíku a vodíku. Vzorky musí před měřením splňovat tyto požadavky: dostatečně rovinný povrch, nepórovitost, rovněž se vzorek nesmí při odběru kontaminovat a nijak mechanicky poškodit. Před měřením byly změřeny všechny standardy a provedla se kontrola kalibrace. Při měření bylo zjištěno, že mezi jednotlivými vzorky se neobjevují nijak zvláštní odchylky, výsledky jsou téměř v rovnováze a nevykazují výraznější odlišnost (tab. 2.7). Při optické emisní spektrometrii s doutnavým výbojem byly použity pro porovnání vyhodnocené výsledky s materiálovým atestem od dodavatele (obr. 2.30.).

Prüfgergebnisse

Prüfpunkt	Mechanische Eigenschaften								
	Rp0,2 MPa	Rm MPa	A50 %						
968460010001	108	215	35.6						

Chemische Zusammensetzung (Gew.%) der Gusscharge(n)

Gusscharge	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mn+ Cr %	Mg %	Cr %	Zn %	Ti %
min.	-	-	-	-	0.10	2.6	-	-	-
max.	0.40	0.40	0.10	0.50	0.6	3.6	0.30	0.20	0.15
100370553 2017	0.18	0.36	0.02	0.23	0.23	2.8	0.00	0.02	0.01

Obr.2.30. Atest materiálu od dodavatele, od firmy Hydro Aluminium, uvádí se chemické složení a výsledky mechanických zkoušek hliníkových slitin.

Tab. 2.7. Hliníkové slitiny šarže 01 218.

Vzorek	O / ppm	N / ppm	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
A	< 5	19	0.063	0.262	0.017	0.223	2.96
B	< 5	13	0.058	0.327	0.018	0.228	3.00
C	< 5	10	0.060	0.279	0.018	0.228	2.83
D	< 5	10	0.047	0.357	0.017	0.243	2.92

Vzorek	Cr [%]	Ni [%]	Ti [%]	Bi [%]	Co [%]	Mo [%]	Sn [%]
A	0.003	0.004	0.004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
B	0.004	0.005	0.004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C	0.003	0.004	0.004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
D	0.003	0.004	0.005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001



Obr. 2.31. Optická emisní spektrometrie s doutnavým výbojem, GDEOS analyzátor a jeho vnitřní komora.

3 ZÁVĚR

Závěrem lze konstatovat: V rámci diplomové práce byly provedeny analýzy hliníkové slitiny AlMg3. Úvodní měření bylo zaměřeno na hodnocení kvality jakosti povrchu dvou hliníkových slitin AlMg3 s odlišnou výrobní šarží. U těchto slitin bylo po procesu mytí naměřeno firmou PWO Czech Republic a.s. rozdílné povrchové napětí, slitina *AlMg3 šarže 16 216* se prezentuje lepšími výsledky povrchového napětí, zatímco slitina *AlMg3 šarže 23 017* je podstatně horší. S pomocí elektronového skenovacího mikroskopu bylo zjištěno, že ve slitině *AlMg3 šarže 23 017* se vyskytuje výrazně větší množství mikrotrhlin kopírující směr válcování materiálu, podle všeho je jejich původ z procesu lisování, především záleží na konkrétních mechanických vlastnostech materiálu, což lze připisovat např. zhoršené tvárnosti materiálu. Mikrotrhliny jsou také mnohem hlubší a ostřejší, v jejich proláklínách se můžou usazovat nečistoty, a to se projeví tím, že se slitina hliníku nedokonale umyje při procesu mytí, následkem toho je pak zhoršení přilnavosti povrchu. Slitina hliníku *AlMg3 šarže 23 017* byla rovněž kvantitativně bohatší na obsah světlých fází.

Odběr vzorku ze slitiny hliníku *AlMg3 šarže 16 216 a 23 017* byl v obou případech z náhodných míst, k dalšímu postupu bylo doporučeno, aby se vzorek odebral ze stejného vytipovaného místa slitiny hliníku o rozměru 1 x 1 cm, tak se ověří a správně porovná, že výše uvedená prezentace výsledků není pouze náhodný jev. K tomuto účelu bylo využito statistické hodnocení s pomocí elektronového skenovacího mikroskopu, kdy se naskenovalo místo vedle místa. **Byly porovnány 4 následující stavy hliníkového plechu AlMg3 šarže 01 218:** a) *lisovaný díl po umytí + po vypálení v peci*, b) *lisovaný díl po umytí*, c) *válcovaný svitek po umytí*, d) *válcovaný svitek po umytí + pec*. Studium hliníkové slitiny *AlMg3 šarže 01 218* s pomocí elektronového skenovacího mikroskopu: Ve struktuře slitiny byly nalezeny opět nesouvislé oblasti „mikrotrhliny“ a s nalepenými nečistotami, ne však v takovém zastoupení jako u slitiny hliníku *AlMg3 šarže 23 017*. Struktura je výrazně čistější, neobsahuje tolik nesouvislých oblastí a průkaznějších nálezů narušení struktury.

Pro zhodnocení struktury hliníkové dílu a vyloučení vnitřních vad ve struktuře byl proveden metalografický výbrus a pozorování struktury hliníkové slitiny *AlMg3 šarže 01 218* na světelném mikroskopu, bylo opět provedeno srovnání 4 stavů. **Pozorování v příčném řezu:** struktura bez narušení, reliéf povrch srovnaný, neobjevuje se zde žádné napadení do hloubky. Identifikovány byly běžné fáze šedé barvy bohaté na železo, jejich vznik je spojen s tuhnutím slitiny, byly detekovány již u elektronového skenovacího mikroskopu. **Pozorování**

v podélném řezu: Vyskytují se zde typické směry válcování, místy se objevují nesouvislé oblasti „mikrotrhliny“, rovněž jdou vidět na elektronovém skenovacím mikroskopu.

Dále bylo přistoupeno k přesnější chemické analýze, tak je možné poctivě vyhodnotit a srovnat u 4 vybraných stavů hliníkové slitiny zastoupení oxidů a jiných prvků. Pro tyto účely byla využita **optická emisní spektrometrie s doutnavým výbojem:** Tady nebyly objeveny žádné změny, prvky se udržují na srovnatelné koncentraci, bez výraznějších odchylek, důvěryhodně lze označit výsledné hodnoty za rovnovážné. **Elementární analýza kyslíku, dusíku a vodíku:** Při analýze hliníkových vzorků bylo zjištěno, že žádný typ vzorku neobsahoval kyslík nad mezí detekce a obsah dusíku se pohyboval v rozsahu 10 –19 ppm. Možná příčina toho, že v hliníkových vzorcích byl detektován malý obsah kyslíku je extrémně nízká hmotnost hliníkových dílů. V případě detekce vyššího obsahu kyslíku nepředstavuje nízká navážka problém.

Ani jedno z provedených měření nedává značný důkaz o možné příčině ovlivňující nedostačující povrchové napětí hliníkových dílů, s kterým se potýkají ve firmě PWO Czech Republic a.s. Jedno je však jisté, vady nepocházejí z vnitřní oblasti struktury, to bylo vyloučeno při pozorování metalografického výbrusu pod světelným mikroskopem. Pro další analýzy a zkoumání příčin nestability výsledků mytí navrhuji: zaměřit se na proces výroby materiálu přímo u dodavatele (válcování svitku), na jeho procesní parametry, zanalyzovat první 3 atomární vrstvy povrchu, které v mé diplomové práci nebyly zkoumány. Zohlednit vliv oxidu hlinitého Al_2O_3 na výsledky povrchového napětí, resp. kvalitu povrchu po aplikaci plazmového paprsku. Např. z analýzy povrchu odmaštěných dílů pomocí fluorescenční technologie víme, že na vzorcích byla rozdílná tloušťka tohoto oxidu hlinitého, která může zkreslovat kvalitu povrchového napětí. Rovněž také otevřít spolupráci s dodavateli technologie lepení, dodavateli technologie plazmové úpravy hliníkové dílu, připravit vzorky a provést vyhodnocení.

4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Solfronk, Pavel, Nová, Iva a Nováková, Iva. *Tvařitelnost slitin hliníku*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2012. str. 154. ISBN 978-80-7372-825-0.
- [2] Hrubý, Vojtěch, a další. *Přehled materiálového inženýrství*. Ostrava - Poruba : KOVOSIL, Hlavní třída 1047/21, 708 00 Ostrava - Poruba, 2010. str. 220. ISBN 978-80-903694-5-0.
- [3] International Aluminium Institute: Life cycle assesment of Aluminium: Inventory data for the worldwide. [Online] 31. Prosinec 2017. <http://www.world-aluminium..>
- [4] Michna, Štefan. *Aluminium materials and technologies from A to Z*. Prešov : Adin, 2007. str. 694. ISBN 978-80-89244-18-8.
- [5] Michna, Štefan a Kusmierczak, Sylvia. *Technologie a zpracování hliníkových materiálů*. Ústí nad Labem : Fakulta výrobních technologií a managementu Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem. str. 152. ISBN 978-80-7044-998-1.
- [6] Sedláček, Vladimír. *Únava hliníkových a titanových slitin*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1989. str. 351. ISBN 80-03-00180-3.
- [7] ALINVEST - Hliník pro příští generaci. [Online] [Citace: 1. Leden 2018.] <https://www.alinvest.cz/hlinik/vlastnosti-hliniku>.
- [8] Hájek, Jaroslav. MM průmyslové spektrum. [Online] [Citace: 4. Leden 2018.] <https://www.mmspektrum.com/clanek/svarovani-hliniku-v-ochrannych-plynech.html>.
- [9] Čada, Radek. *Technologie tváření, slévání a svařování*. Ostrava : Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. str. 90. ISBN 978-80-248-3624-9..
- [10] Kuře, František. *Válcování za studena*. Ostrava : Vysoká škola báňská , 1971. str. 79.
- [11] GDA - Gesamtverband der Aluminiumindustrie. [Online] [Citace: 5. Leden 2018.] <http://www.aluinfo.de/startseite.html>.
- [12] DAIMLER - Vertrieb Deutschland. [Online] [Citace: 6. Leden 2018.] <http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Start.xhtml?oid=4836258>.
- [13] aljo. [Online] [Citace: 7. Leden 2018.] <http://www.aljo.de/index.html>.
- [14] alcoa. [Online] [Citace: 8. Leden 2018.] <http://www.alcoa.com/global/en/home.asp>.

- [15] NGZ ONLINE. [Online] [Citace: 9. Leden 2018.] <http://www.rp-online.de/nrw/staedte/neuss/die-huette-glueht-aid-1.5262651>.
- [16] Mohyla, Miroslav. *Technologie povrchových úprav*. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1995. str. 251. ISBN 80-7078-267-6.
- [17] Puchnar, B. *Hliník a hliníkové slitiny*. Brno : Západomoravské tiskárny, Brno. str. 508. I - 34622 - 8635/62.
- [18] Judová, Judita. *Povrchová úprava hliníka*. Bratislava : Dom techniky pri Slovenskej rade Čs.VTS, 1962. str. 307. I - 36408-169/63.
- [19] Elektronová mikroskopie. Metalografie. [Online] [Citace: 5. Březen 2018.] <http://docplayer.cz/1571274-Elektronova-mikroskopie-metalografie.html>.
- [20] SPECTRUMA ANALYTIK GMBH. *GDOES - Theorie*. [Online] [Citace: 21. Březen 2018.] <https://www.spectruma.de/de/gdoes-theorie.html>.